

Evaluación del efecto de diferentes aditivos sobre la calidad del abono bocashi bajo las
condiciones de el municipio de Pamplona

Tesis de grado para obtener el título de:

Ingeniero Agrónomo

Autor

Jonnathan Farney Carvajal Barrios

Universidad de Pamplona

Facultad de Ciencias Agrarias

Programa de Ingeniería Agronómica

Pamplona

2019

Evaluación del efecto de diferentes aditivos sobre la calidad del abono bocashi bajo las
condiciones de el municipio de Pamplona

Tesis de grado para obtener el título de:
Ingeniero Agrónomo

Autor

Jonnathan Farney Carvajal Barrios

Director

MSc. PhD. I.A. Leónides Castellanos Gonzales

Universidad de Pamplona

Facultad de Ciencias Agrarias

Programa de Ingeniería Agronómica

Pamplona

2019

Pamplona, 7 de diciembre de 2019

Carta de aprobación y certificación para sustentación final del trabajo o tesis de grado

Señores:

Comité de Trabajo de Grado
Facultad de Ciencias Agrarias
Programa de Ingeniería Agronómica
Universidad de Pamplona

Cordial Saludo:

Por medio de la presente, hago constar que el estudiante **Jonnathan Farney Carvajal Barrios** realizó el trabajo de grado titulado “**Evaluación del efecto de diferentes aditivos sobre la calidad del abono bocashi bajo las condiciones de el municipio de Pamplona**” previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo, cumpliendo con las disposiciones establecidas.

→ Atentamente → ¶

MSc. PhD. I.A. Leónides Castellanos Gonzales ¶

Tutor/director del trabajo de grado ¶

Agradecimientos

A Dios, por bendecirme y estar conmigo en cada paso que doy, cuidándome, dándome salud, fortaleza y guiándome para lograr alcanzar mis metas.

A mi esposa, por todo su amor y paciencia, por apoyarme en los momentos de adversidad y felicidad siendo parte de esta historia.

A mis padres, quienes se esfuerzan a diario y me han dado su apoyo incondicional.

A mis hermanos, por estar en los momentos importantes de mi vida.

Gracias al MSc. PhD. I.A. Leónides Castellanos Gonzales, por compartir sus conocimientos, por su tiempo, apoyo y acompañamiento a lo largo del proceso de investigación en calidad de tutor/director de la presente tesis.

A los miembros del jurado de sustentación, por sus correcciones y sugerencias sobre la presente tesis de grado.

A los docentes de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Pamplona, quienes hicieron parte de mi formación como profesional.

Tabla de contenido

1.	Introducción.....	1
2.	Problema.....	3
	Planteamiento y descripción del problema	3
	Justificación.....	4
	Delimitación.....	6
3.	Objetivos	7
	Objetivo general	7
	Objetivos específicos	7
4.	Marco de Referencia	8
	Antecedentes	8
	Marco Contextual	9
	Ubicación Geográfica	9
	Marco Teórico	10
	Abonos orgánicos	10
	Abono tipo bocashi	11
	Etapas en el proceso de elaboración del bocashi.....	11
	Factores que afectan el proceso de elaboración del bocashi	12
	Principales ingredientes y materiales utilizados.....	12
	Beneficios del bocashi	13
	Aditivo.....	13

Microorganismos eficientes (EM)	14
Lacto suero o suero de leche	14
Marco Legal	15
5. Metodología.....	18
Diseño Metodológico.....	18
Tipo de investigación	18
Sistema de variables.....	18
Diseño experimental	18
Obtención y adecuación de la materia prima	19
Elaboración del abono bocashi.	21
Comparación de las variables fisicoquímicas en cada tratamiento.	22
Medición de la temperatura y % de humedad.	22
Determinación del pH	23
Procesamiento de la información.....	24
Análisis estadístico	24
Identificación de la biodiversidad microbiana del abono bocashi.....	24
Toma de muestras.	25
Medios de cultivo	25
Preparación de diluciones.....	25
Siembra en los medios de cultivo	26

Identificación y conteo de colonias	26
Procesamiento de la información.....	27
Análisis estadístico	27
Evaluación del tiempo de maduración en cada una de las formulaciones.	27
Determinación del olor.....	27
Determinación del color.....	28
Procesamiento y análisis de los datos	28
Determinación de la concentración de nutrientes en los diferentes tratamientos.....	28
Toma de muestras	29
Determinación de la materia orgánica	29
Determinación de Nitrógeno total	31
Determinación del fósforo, potasio, calcio y magnesio.	31
Procesamiento de la información.....	31
Análisis estadístico	31
6. Resultados y análisis de resultados	32
Comparación de las variables fisicoquímicas en cada tratamiento	32
Temperatura.....	32
Análisis de varianza unifactorial (ANOVA).....	33
Humedad	35
Análisis de varianza unifactorial (ANOVA).....	36

Potencial de hidrogeno (pH).....	37
Identificación de la biodiversidad microbiana del abono bocashi.....	39
Evaluación del tiempo de maduración en cada una de las formulaciones.....	41
Olor	41
Color.....	42
Determinación de la concentración de nutrientes en los diferentes tratamientos.....	43
Parámetros de calidad según Norma Técnica Colombiana NTC 5167	45
Discusión.....	46
7. Conclusiones.....	48
8. Recomendaciones	49
9. Bibliografía.....	50
10. Anexos.....	56

Lista de figuras

Figura 1. Ubicación Geográfica del CISVEB de la Universidad de Pamplona	10
Figura 2. Croquis de la ubicación de los 4 tratamientos.....	19
Figura 3. Insumos utilización para la elaboración.....	20
Figura 4. Preparación del abono bocashi..	21
Figura 5. Distribución de los puntos para toma de muestras y mediciones en el tratamiento..	22
Figura 6. Medición de la humedad (a) y temperatura (b)..	23
Figura 7. Medición de pH mediante el potenciómetro..	24
Figura 8. Diluciones para cada tratamiento..	25
Figura 9. a) cajas de Petri listas para siembra; b) siembra por inmersión.	26
<i>Figura 10.</i> Conteo de UFC en cada medio de cultivo.	27
Figura 11. Muestras de abono..	29
Figura 12. Determinación de la MO por calcinación..	30
Figura 13. Promedio de temperatura/día, desde el día 2 al día 7.	32
Figura 14. Promedios de humedad durante los días 2 a 7.....	35

Lista de tablas

Tabla 1. Normativa legal vigente	15
Tabla 2. Descripción de los tratamientos según el aditivo utilizado	19
Tabla 3. Formulación para preparar 100 kg de cada uno de los tratamientos evaluados	20
Tabla 4. Escala de olor.....	28
Tabla 5. Escala de color	28
Tabla 6. Análisis estadístico para temperatura en cada tratamiento.....	33
Tabla 7. Análisis estadístico para humedad en cada tratamiento	36
Tabla 8. Análisis estadístico para el pH entre los tratamientos.....	38
Tabla 9. Análisis estadístico para las poblaciones de microorganismos a los 20 DDE.	39
Tabla 10. Análisis estadístico para las poblaciones de microorganismos a los 40 DDE.....	40
Tabla 11. Evaluación del grado de olor presente en cada tratamiento.	42
Tabla 12. Evaluación del grado de color presente en cada tratamiento.....	43
Tabla 13. Análisis estadístico de los macronutrientes presentes en el abono	44
Tabla 14. Resumen de los parámetros de calidad del abono bocashi.....	46

Lista de anexos

Anexo 1. UFC presentes en el medio Rosa de Bengala.	56
Anexo 2. UFC en el medio Ashby.....	56
Anexo 3. UFC en los medios a) SPC y b) Pikovskaya.	57
Anexo 4. Coloración grisácea en el bocashi a los 35 DDE..	57
Anexo 5. Temperatura ambiente	57

Resumen

La presente investigación tuvo como finalidad evaluar el efecto de los aditivos de levadura, microorganismos eficientes (EM) y suero de leche en el proceso de elaboración de un abono tipo bocashi bajo las condiciones de Pamplona, Norte de Santander, obtenido a partir de los residuos vegetales producidos en el centro de acopio y plazas de mercado del municipio, para contribuir al medio ambiente. Se realizó la comparación de las variables fisicoquímicas, la identificación de la biodiversidad microbiana mediante análisis microbiológicos, se evaluó el tiempo de maduración en cada una de las formulaciones y se determinó el contenido nutricional de macronutrientes.

No se realizó un diseño experimental como tal, pero se desarrollaron 4 tratamientos, en 4 montones de bocashi con incorporación de los diferentes aditivos. Los tratamientos consistieron el primero (T1) como testigo, el segundo (T2) con levadura, el tercero (T3) con ME y cuarto (T4) con suero de leche. Se prepararon 100 kg de bocashi en cada tratamiento.

Para la toma de muestras de laboratorio y medición de las variables de temperatura y humedad, se establecieron 3 puntos de muestreo para cada tratamiento correspondientes a 3 repeticiones. Para los datos de las variables de temperatura y humedad de la primera semana, se realizaron graficas mediante el programa Microsoft Excel 2016, y se realizó un análisis estadístico de varianza unifactorial (ANOVA), a partir de los datos obtenidos después de los 7 DDE, dicho análisis también se realizó a pH, para las UFC de las poblaciones de microorganismos obtenidos en los resultados de los análisis microbiológicos y para las variables del contenido nutricional como MO, N, P, K, Ca y Mg. La comparación de medias se analizó mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) por medio del software IBM SPSS Statistics versión 25. Se realizaron tablas mediante el programa Microsoft Excel 2016 para el análisis de color y olor.

Los resultados demostraron que los aditivos EM y lacto aumentaron la temperatura en comparación con los demás tratamientos, los porcentajes de temperatura estuvieron dentro de los parámetros adecuados. Se alcanzó un porcentaje de humedad hasta de 79% durante la primera semana superando los rangos ideales para una buena actividad microbiológica en los días 4 y 7 DDE, posteriormente humedad y temperatura comienzan a disminuir hasta temperatura ambiente. El pH se mantuvo dentro del rango adecuado por encima de 4 y por debajo de 9 según la norma NTC 5167. La utilización del suero de leche favoreció la actividad de microorganismos y bacterias fijadoras de nitrógeno, alcanzando un valor de 2.57%. El tiempo de maduración se determinó a los 35 DDE cuando el abono presentó un olor agradable, coloración grisácea de aspecto seco, consistencia suelta y temperatura ambiente. El porcentaje de MO fue mayor en los tratamientos con lacto suero con 51,57% y levadura con 51,09%. El lacto suero presentó mayor concentración de P_2O_5 (1,39%), K_2O (0.14%), Ca (0.053%) y Mg (0.014%). Al final se realizó el resumen de los parámetros de calidad según la norma NTC 5167.

1. Introducción

El uso de abonos orgánicos en la agricultura ha sido una de las principales prácticas culturales aplicadas por los agricultores desde hace muchos años, sin embargo, se ha ido presentando un decrecimiento considerable en su utilización (Kastdalen, 2017), a partir del incremento en el uso de fertilizantes químicos, asociado a una mayor demanda de alimentos tras el incremento de la población mundial y en búsqueda de obtener mayores producciones, provocando impactos negativos en el medio ambiente, haciendo un uso intensivo de los recursos naturales, presentando un desequilibrio en los sistemas productivos (Ramos, Terry, Soto y Cabrera, 2014).

La sostenibilidad e inocuidad de los alimentos y la preocupación por temas ambientales, hacen necesario la búsqueda de alternativas que permitan producciones más limpias y sostenibles, donde los abonos orgánicos debido a su gran importancia económica, social y ambiental, pueden contribuir a mejorar esta problemática (Sarmiento, Amézquita y Mena, 2019).

Los abonos orgánicos, son enmiendas que se incorporan al suelo para mejorar sus propiedades físicas, químicas y biológicas y con ello su fertilidad, hacen parte de la agricultura orgánica con el fin de producir sosteniblemente, ya que son indispensables para la regulación de muchos procesos que afectan la productividad agrícola, permitiendo la disminución del uso de agroquímicos (Bertolí, Terry y Ramos, 2015). Se podría decir que son imprescindibles en el manejo adecuado del suelo, permitiendo obtener alimentos sanos y de calidad por sus diferentes beneficios, no solo mejorando las características del suelo, también contribuye de manera significativa en el cuidado del medio ambiente y para la salud humana (Sarmiento et al., 2019).

Uno de los abonos orgánicos más conocidos actualmente es el tipo Bocashi, esta técnica es de origen japonés y significa abono orgánico fermentado o fermento suave, el cual se puede obtener en poco tiempo, empleando distintos materiales en proporciones adecuadas, en búsqueda de un

producto balanceado, su contenido nutricional depende de los materiales utilizados, su preparación, tiempo de maduración y actividad biológica (Suclupe, 2019).

Se prepara tradicionalmente con los desechos de origen animal o vegetal mezclando con tierra de bosque como inóculo para estimular el proceso en la elaboración. La utilización de aditivos en la preparación del abono Bocashi tales como microorganismos eficientes puede estimular una mayor actividad microbiana y mejorar el contenido nutricional del abono (Sosoranga, 2018), al igual que la levadura, la cual adicionalmente se ha encontrado favorable para el aumento de la temperatura (Kastdalen, 2017) y la adición del suero de leche para mejorar el contenido nutricional, además de su aprovechamiento debido a que este contiene grasas, aceites y azúcares que pueden ser contaminantes del medio ambiente y del suelo (Gordón, 2013).

La aplicación de un abono orgánico en el suelo como el tipo Bocashi, favorece el mejoramiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas de este, el cual genera estabilidad estructural, permeabilidad del agua, capacidad de retención de nutrientes, contribuye en los procesos de mineralización y nutrición de las plantas (Machuca y Muñoz, 2018).

El presente trabajo llevó a cabo la evaluación del efecto de tres aditivos en la elaboración del abono Bocashi, a partir del análisis fisicoquímico, microbiológico, nutricional y el tiempo de maduración bajo las condiciones del municipio de Pamplona, Norte de Santander.

2. Problema

Planteamiento y descripción del problema

Nuestro país se caracteriza por ser biodiverso, lo que permite diferentes oportunidades para desarrollar sistemas de producción agrícola sustentables, que aún no se han aprovechado al máximo en algunos sectores debido a la falta de tecnificación y capacitación, que en concordancia con el nivel poblacional y demanda de alimentos, los productores en general recurren a prácticas como la utilización de insumos químicos que pueden ser cuestionadas debido a la contaminación, deterioro del suelo y del medio ambiente, causado por el uso indiscriminado de los mismos y sus posibles riesgos para la salud humana (Suclupe, 2019).

A nivel mundial la generación de desechos es un problema inmerso en la sociedad, tiene que ver con la cultura, falta de concientización y los sistemas de producción agroindustriales. Colombia al tratarse de un país agrícola, se genera anualmente una gran cantidad de residuos de cosecha, considerados como un problema para el productor, los cuales en la mayoría de los casos no aplican alternativas para su manejo convirtiéndose en fuente de contaminación y presentando un nivel bajo de aprovechamiento de estos residuos, lo cual incide en la baja adopción en la utilización de abonos orgánicos compostados por parte de los agricultores, de igual forma, cada día aumenta la cantidad de desechos generados por la población, en los centros de acopio, casas de mercado y verdulerías (cáscaras de frutas, verduras, residuos de comida, hierbas, hojas y raíces) (Piedrahita y Caviedes, 2012), causando un problema ambiental de contaminación, debido a los gases y lixiviados que se generan tras la descomposición de la materia orgánica (Salazar, 2018). Según CONPES (2016) relaciona el 61,5 % de la generación de residuos a residuos orgánicos (RSO).

En búsqueda de soluciones se creó el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS), como instrumento de planeación municipal que contiene un conjunto ordenado de objetivos, metas, programas, proyectos, actividades y recursos definidos por el ente territorial para el manejo de los residuos sólidos, por medio de estrategias como reciclaje, tratamiento biológico donde se encuentra el compostaje, sin embargo, a pesar de la política ambiental y las normativas desarrolladas en el país, no ha sido suficiente para mejorar esta problemática (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2016).

De acuerdo a lo anterior, la finalidad del presente trabajo fue la elaboración y caracterización desde el punto de vista químico y microbiológico un abono orgánico bocashi a partir de la influencia de los aditivos de microorganismos eficientes, levadura y lacto suero, como alternativa para el aprovechamiento de los residuos orgánicos del municipio de Pamplona, en búsqueda de obtener un producto de buenas características de calidad y que pueda ser una opción para los agricultores.

Justificación

Es indispensable buscar alternativas que favorezcan el sector agrícola, con formas de manejo amigables con el medio ambiente, dentro de las cuales encontramos el abono orgánico fermentado tipo bocashi como herramienta para el tratamiento de los residuos orgánicos que se generan en las fincas y plazas de mercado o centros de acopio, lo cual permite utilizar diferentes tipos de sustrato que permiten mejorar la calidad física, química y biológica del abono, obteniendo un biopreparado de buena calidad.

El municipio de Pamplona presenta un clima frío donde generalmente las fincas se dedican a los cultivos como papa, arveja, zanahoria y de los cuales se generan residuos vegetales durante la cosecha, de igual forma frutales como el durazno del cual durante las labores de poda se obtienen

residuos vegetales y desperdicios que no son aprovechados, como también un porcentaje de pérdidas de las cosechas de productos como frutas afectadas por patógenos, fisiopatías o daños mecánicos y que en la mayoría de los casos no se realizan manejos adecuados y se desperdician generando incluso contaminación. También encontramos pequeñas producciones pecuarias donde muy pocas fincas realizan un aprovechamiento del estiércol para la elaboración de abonos orgánicos., por otra parte, tenemos los residuos vegetales generados en la zona urbana como las plazas de mercado, el centro de acopio, verdulerías y desechos de alimentos de cocina que generan contaminación tras la descomposición de estos productos en malas condiciones y que son poco aprovechados. Por otra parte se tiene el suero de leche que se produce en la quesera Magdis del municipio quienes desechan este subproducto sin hacer ningún tipo de aprovechamiento.

Estas prácticas son poco conocidas por los productores de la región, lo cual influye en el bajo aprovechamiento de los residuos orgánicos, se desconoce los beneficios de la utilización del abono bocashi no solo para la estructura del suelo y buen desarrollo de los cultivos, sino también permite reducir los costos de producción, debido a que los productos fertilizantes son costosos.

Teniendo en cuenta las condiciones climáticas del municipio de Pamplona, el tiempo para la elaboración de un abono orgánico es más largo, por ello se plantea la evaluación de aditivos en el proceso de compostaje y maduración del abono bocashi bajo estas condiciones con el fin de determinar que aditivos permiten acelerar el tiempo de maduración, favorecer la actividad microbiana y que se pueda obtener un producto de buena calidad con los residuos o desperdicios generados en el municipio, como una alternativa amigable con el medio ambiente, de fácil implementación y que puede ser beneficiosa para los agricultores de la región que logren

implementar esta técnica en sus fincas, para su utilización en los sistemas de producción agrícola ya que este tipo de producto presenta una serie de beneficios para el suelo y plantas.

Delimitación

La presente investigación se llevó a cabo en el Centro de Investigación en Sanidad Vegetal y Bioinsumos (CISVEB), de la Universidad de Pamplona (Norte de Santander), espacio que permite la realización de prácticas académicas y desarrollo de proyectos investigativos, se encuentra ubicado en la zona norte del municipio de Pamplona, a una altitud de 2.287 msnm con una temperatura promedio de 14 °C, el objetivo fue la evaluación el efecto de los aditivos microorganismos eficiente, levadura y lacto suero en la elaboración de abono orgánico tipo Bocashi. Los análisis de las muestras se realizaron en los laboratorios de Bacteriología y Laboratorio Clínico, y de Control de Calidad y Diagnostico de la Universidad de Pamplona. El proyecto se ejecutó durante 4 meses del año 2019.

3. Objetivos

Objetivo general

Evaluar el efecto de diferentes aditivos sobre la calidad del abono bocashi bajo las condiciones de el municipio de Pamplona.

Objetivos específicos

Comparar las variables fisicoquímicas en cada tratamiento de los biopreparados

Identificar la biodiversidad microbiana en el proceso de compostaje y maduración del abono bocashi.

Valorar el tiempo de maduración en cada uno de los tratamientos del abono bocashi.

Determinar la concentración de nutrientes de cada tratamiento de los diferentes bioproductos.

4. Marco de Referencia

Antecedentes

Sosoranga (2018) llevó a cabo un experimento de bloques al azar con tres réplicas, tres dosis de EM-artesanal y EM-comercial más un testigo, con el fin de evaluar las características del abono bocashi. Con incrementos de las dosis de EM en el abono, se logró elevar los valores de nitrógeno total 21%, fósforo 34%, potasio 132% y materia orgánica 12% todos con respecto al testigo, en una etapa de descomposición del Bocashi que tuvo una duración de 30 días. Otro aspecto a recalcar es el comportamiento similar entre el EM-Comercial y EM-Artesanal; en la relación C/N de manera general, existe una diferencia de hasta 10% entre el testigo y el EMA y el pH de las pilas de bocashi se encuentran en los rangos permisibles con valores que fluctúan de 5,4 a 7,0.

Kastdalen (2017) evaluó el efecto de la aplicación de levaduras en la transformación de residuos orgánicos con gallinaza como fuente de nitrógeno y comparar el efecto del uso de levaduras. Utilizaron un BCA con cuatro tratamientos y tres repeticiones, se tomaron variables como la temperatura en 10 diferentes fechas y el pH, conductividad eléctrica, carbono, nitrógeno y la relación C/N para determinar la calidad una vez estabilizado el abono, obteniendo como resultado que las levaduras incrementan más la temperatura en el tratamiento C/N=16:1+Lev en la etapa mesofílica y termofílica, es decir que niveles más altos de N y el uso de las levaduras permitieron mantener una mayor actividad de microorganismos.

Gordón (2013) elaboró un abono orgánico utilizando suero de leche para contribuir al medio ambiente y aprovechar este producto, utilizó 120 litros de suero, el cual se dividió en diez tratamientos, con tres repeticiones cada uno. El tratamiento 9 presento mayor contenido nutricional en macro y micro nutrientes (50% suero de leche, 0% agua, 38% estiércol, 2,38%

melaza, 4,78% alfalfa, 2,38% ceniza, 2,38%humus, 0,08% lacto fermento) en el que se recalca el uso del 50% de suero de leche y lacto fermento como inóculo microbiano, obteniéndose un biol de composición: nitrógeno 839,60ppm, fósforo 226,44ppm, potasio 5833,1ppm, azufre1436,26ppm, calcio 3165,3ppm, magnesio73,12ppm, zinc 10,66ppm, cobre 1,95ppm, hierro 3660,97ppm, manganeso73,12ppm, y boro 3,58ppm con un pH de 5,49 y una conductividad eléctrica de 16,723 mS/cm.

Vásquez, Sosoranga, Chamba y Mora (2018) evaluaron la química del abono Bocashi con aplicación de microorganismos eficientes en la comunidad La Matara de la parroquia y cantón Saraguro, provincia de Loja realizo un experimento de bloques al azar con tres réplicas, tres dosis de EM-artesanal, tres dosis de EM-comercial y un testigo, Con 0,75 l/m³ de EM-artesanal se obtuvo 0,65 % de nitrógeno total, 0,52 % de fósforo, 1,67 % de potasio, 35 % de materia orgánica y relación C/N de 32; el rango de pH de las pilas de bocashi fue de 5,4 a 7,2

Marco Contextual

Ubicación Geográfica. El presente proyecto se ejecutó en el Centro de Investigación en Sanidad Vegetal y Bioinsumos (CISVEB), de la Universidad de Pamplona (Norte de Santander), ubicado en la zona norte del municipio de Pamplona, a una altitud de 2.287 msnm con una temperatura promedio de 14 °C y en los laboratorios de: Bacteriología y Laboratorio Clínico, y en el Laboratorio de Control de Calidad y Diagnostico de la Universidad de Pamplona, para el análisis de las muestras.

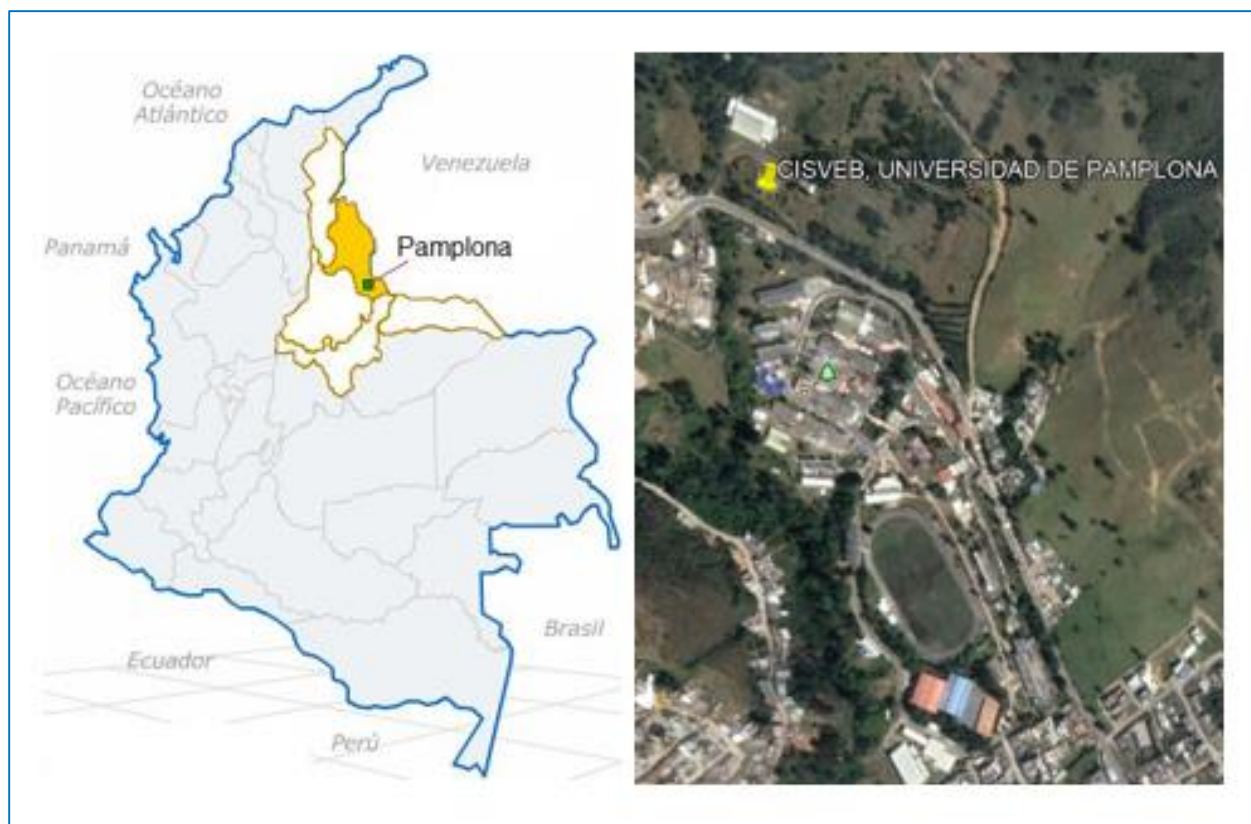


Figura 1. Ubicación Geográfica del CISVEB de la Universidad de Pamplona.
Fuente: Google earth (2019).

EL Centro de Investigación en Sanidad Vegetal y Bioinsumos CISVEB, es un espacio de prácticas académicas y centro de investigación y extensión, en el cual los estudiantes pueden realizar sus prácticas de campo en las diferentes asignaturas y de igual forma el desarrollo de proyectos investigativos (Universidad de Pamplona, 2013).

Marco Teórico

Abonos orgánicos.

Los abonos orgánicos son componentes de gran importancia económica, social y ambiental, que permiten la regulación de diferentes procesos en la agricultura, reemplazando a los fertilizantes químicos, aseguran la calidad de la producción, favorece la conservación y recuperación del suelo, disminuyen la contaminación, son de fácil elaboración, convirtiéndose en una alternativa para la obtención de alimentos limpios y aprovechamiento de los desechos

vegetales o animales cultivos (Boechat, Gonzaga y Accioly, 2013), siendo el resultado de la descomposición natural de la materia orgánica por acción de los microorganismos presentes en el medio y como producto final permiten la fertilización de los suelos favoreciendo la nutrición vegetal (Loarte, Apolo y Álvarez, 2018).

Abono tipo bocashi.

El abono bocashi es una receta japonesa que consiste en un proceso de semi descomposición de los desechos orgánicos por acción de microorganismos presentes en los mismos, bajo ciertas condiciones que permiten la obtención de un abono orgánico fermentado para la fertilización de plantas y enriquecimiento de los suelos (Ramos et al., 2014). Es considerado como un proceso de compostaje incompleto, sin embargo, es un proceso netamente aerobio, la inoculación de microorganismos eficiente asegura una buena fermentación evitando putrefacción de la materia orgánica (Caviedes y Piedrahita, 2012).

Etapas en el proceso de elaboración del bocashi.

El abono bocashi se desarrolla en dos etapas. La primera etapa que se presenta es la estabilización del abono durante la fermentación, en la cual se pueden alcanzar temperaturas entre 70 y 75 °C si no se controla adecuadamente, por la alta intensidad en la actividad microbiana, seguidamente la temperatura del abono comienza a descender por causa de la disminución de la fuente energética. La segunda etapa es cuando el abono pasa a un proceso de maduración, en la cual se descomponen los materiales orgánicos todavía presentes, generalmente aquellos que durante la estabilización presentan mayor dificultad para su degradación a corto plazo (Suclupe, 2019).

Factores que afectan el proceso de elaboración del bocashi.

Entre los factores que afectan el proceso de la producción del bocashi está la temperatura. La temperatura permite el incremento de la actividad microbiana, después de las 14 horas de preparación se pueden presentar temperaturas por encima de los 50°C, se recomienda que no supere los 60°C. Requiere un pH entre 6 y 7,5 debido a que, si son muy altos, puede inhibir la actividad microbiana. La humedad óptima oscila entre el 50 y 60%, cuando la humedad es inferior al 35% se da una descomposición aeróbica muy lenta y si supera el 60% la cantidad de poros que están libres en el agua son muy pocos, dificultando la oxigenación de la fermentación, resultando un proceso anaeróbico putrefacto. Se calcula que debe existir como mínimo entre un 5 a 10% de oxígeno en los macro poros de la masa. La relación de C/N se calcula de 1 a 25- 35. Si las relaciones fueran menores, puede existir pérdida de nitrógeno por volatilización; y si fueran las relaciones mayores quiere decir que la fermentación y la descomposición es más lenta. El tamaño de las partículas de los ingredientes, si son muy pequeñas puede generar compactación, lo que no es ideal, sin embargo con un tamaño adecuado de las partículas puede presentar una ventaja para aumentar la superficie de descomposición y acelerar el proceso de degradación de algunos materiales (Bertolí et al., 2015).

Principales ingredientes y materiales utilizados.

Dentro de los principales ingredientes utilizados para la elaboración del abono bocashi, encontramos el carbón, este presenta un alto grado de porosidad que beneficia la actividad macro y microbiana del suelo, retiene, filtra y libera gradualmente nutrientes a las plantas y mejora las características físicas del suelo. La gallinaza es fuente de nitrógeno, mejora la fertilidad del suelo en especial de P, K, Ca, C, Fe, Mn, Zn, Cu, y B suelo. La cascarilla de arroz mejora las características físicas del suelo y de los abonos orgánicos, facilita la aireación, la absorción de

humedad y filtrado de nutrientes, también beneficia el incremento de la actividad macro y microbiológica del suelo. La melaza de caña es la principal fuente energética para la fermentación, favorece y multiplica la actividad microbiológica, es rica en potasio, calcio y magnesio, contiene gran cantidad de Boro. La levadura constituye la principal fuente de inoculación microbiológica, para la fabricación de abonos orgánicos. La cal agrícola regula la acidez que se presenta en todo el proceso de fermentación, así mismo puede contribuir con otros minerales útiles a las plantas. El agua su principal objetivo es homogenizar la humedad de todos los ingredientes que componen el abono (Caviedes y Piedrahita, 2012).

Beneficios del bocashi.

La adecuada utilización del abono bocashi puede permitir una reducción de costos de producción, ya que el precio de los fertilizantes sintéticos es alto en el mercado comparado con el costo del Bocashi, permitiendo mejorar de esa manera la rentabilidad de los cultivos, también permite una reducción sustancial de productos sintéticos, disminuyendo el riesgo de contaminación de suelo, aire y agua. Contribuye a la conservación del suelo, reduce la acidez de los suelos al dejar de usar sulfato de amonio y sustituirlo por el Bocashi. Si la técnica es aplicada dentro del sistema de agricultura orgánica (sin utilizar productos agroquímicos), se pueden lograr mejores precios de los productos en el mercado (Bertolí et al., 2015).

Aditivo.

Hace referencia a aquello que puede o debe añadirse, por ejemplo una sustancia que se agrega para poder dar una cualidad específica al producto final, ya sea para mejorarla o por ejemplo, acelerar determinado proceso (Boletínagrario, 2019).

Microorganismos eficientes (EM).

Los microorganismos eficientes inicialmente eran utilizados como acondicionadores de suelos, también para producir alimentos de mejor calidad orgánicos y para el manejo de los desechos generados por las producciones agropecuarias e industrias, entre otros (Sosoranga, 2018), favoreciendo la descomposición de los mismos en menos tiempo entre 4 a 6 semanas generalmente, se utiliza aplicándolo directamente sobre la materia orgánica o composta, estos procesos favorecen una mayor descarga de nutrientes de la materia orgánica, fotosíntesis mejorada y actividad proteica. En las plantas genera un mecanismo de supresión de insectos y enfermedades, debido a que, pueden inducir la resistencia sistémica de la planta, favorece la floración y fructificación y maduración por efectos hormonales en las zonas meristemática, incrementando la capacidad fotosintética, sin embargo, los EM pueden ser afectados por productos químicos (Amézquita, 2018).

Lacto suero o suero de leche.

El lacto suero es un líquido transparente de tonalidad amarillo-verdoso y con un sabor ligeramente ácido, resultado de la coagulación de la leche durante la elaboración del queso, por la acción de enzimas coagulantes de origen animal, vegetal o microbiano y por adición de ácidos orgánicos o minerales. El suero es rico en grasa y posee gran parte de la proteína de la leche, lactosa y sales minerales, es utilizada generalmente para la alimentación de ganado (cerdos) y algunos productos como galletas y alimentos concentrados, es por eso que se puede utilizar como inoculante microbiano en la elaboración de abonos orgánicos (Gordón, 2013).

Marco Legal

En Colombia la normativa legal vigente cuenta con una serie de decretos, leyes, normas y resoluciones en las cuales se establecen las pautas y procedimientos para el control, transporte, almacenamiento y disposición de los desechos (Tabla 1.)

Tabla 1. Normativa legal vigente

Norma	Descripción
Constitución Política de Colombia/1991	En el Capítulo 3, para los Artículos 79 y 80, se consagran los derechos colectivos a gozar de un ambiente sano y el deber del estado de proteger la diversidad e integridad del ambiente y planificar el manejo de los recursos naturales renovables (Asamblea Nacional Constituyente, 2010).
Política para la Gestión Integral de los Residuos. 1998.	Establece el máximo aprovechamiento y mínimo de residuos con destino al Relleno Sanitario. Define las categorías de Residuo Aprovechable y No Aprovechable, para impedir o minimizar los riesgos para los seres humanos y el medio ambiente (Machuca y Muñoz, 2018).
Ley 09 de 1979	Regula las normas sanitarias relacionadas con la salud pública, adoptando medidas de control para la descarga de residuos y materiales que puedan afectar el entorno y el uso de materias primas para procesos de disposición final reduciendo la cantidad de residuos (Congreso de la Republica de Colombia, 1979).
Ley 99/1993	Se crea el Ministerio de Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los

	recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental -SINA- y se dictan otras disposiciones (Ministerio del Interior, 1993).
Ley 1259/2008	El Comparendo Ambiental controla a los infractores de las normas de aseo, limpieza y recolección de escombros mediante sanciones pedagógicas y económicas a todas aquellas personas naturales o jurídicas que infrinjan la normatividad existente en materia de residuos sólidos (Congreso de la Republica de Colombia, 2008).
Decreto Nacional 838 de 2005	Con el fin de disminuir los impactos ambientales y reducir la cantidad de residuos a disponer, establece el Ministerio de Ambiente Vivienda y desarrollo territorial, establece en el Capítulo VII el sistema de aprovechamiento de los residuos sólidos, como su selección, diseño de infraestructura, requisitos de comercialización de productos obtenidos mediante la degradación de la materia orgánica. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2005).
Decreto 2811/ 1974	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, reglamenta la implementación de los mejores métodos para aprovechamiento, tratamiento, recolección, procesamiento o disposición final de los residuos, basuras, desperdicios, de cualquier tipo (Ministerio de Agricultura, 1974).

Decreto 2981/2013	Se reglamenta el servicio público de aseo, se establecen las características mínimas de los residuos sólidos para su aprovechamiento (Ministerio de Vivienda, ciudad y territorio, 2013).
Resolución 00074/2002	Por la cual se establece el reglamento para la producción primaria, procesamiento, empaclado, etiquetado, almacenamiento, certificación, importación y comercialización de productos agropecuarios ecológicos (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2002).
Resolución 00150 ICA/2003	Por la cual se adopta el Reglamento Técnico de Fertilizantes y Acondicionadores de Suelos para Colombia. En búsqueda de realizar una mejor utilización y disposición de los desechos del país (ICA, 2003).
NTC 5167/2011	Establece los requisitos que deben cumplir y los ensayos a los cuales deben ser sometidos los productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y como enmiendas o acondicionadores de suelo (ICONTEC, 2011).

Nota: Descripción de la normativa de manejo de los residuos orgánicos en Colombia.
Fuente: Machuca y Muñoz (2018).

5. Metodología

Diseño Metodológico

Tipo de investigación.

La presente investigación es de carácter cuali-cuantitativo, debido a que se evalúa mediante toma de datos las diferentes variables físicas y químicas y microbiológicas analizadas estadísticamente y se realizó la evaluación de variables organolépticas de forma visual, en búsqueda de cumplir los objetivos propuestos mediante las variables de respuesta.

Sistema de variables.

Las variables independientes corresponden a cada uno de los tratamientos con microorganismos eficientes, levadura, lacto suero y un testigo. Como variables dependientes dentro del análisis físico-químico se encuentra el pH, la humedad y temperatura. Para el análisis microbiológico tenemos las UFC de las diferentes poblaciones de bacterias fijadoras de N, levaduras, hongos y bacterias solubilizadoras de P. En la evaluación del contenido nutricional del abono tenemos como variables el porcentaje de MO, N, P, K, CA y Mg.

Diseño experimental.

No se realizó un diseño experimental como tal, pero se desarrollaron 4 tratamientos, en cuatro montones o pilas de bocashi con incorporación de aditivos para evaluar la aceleración del proceso de compostaje y maduración en cada una de las pilas ubicadas bajo techo, utilizando como base piso de cemento. Para cada uno de los tratamientos se designó una clave de identificación según el aditivo utilizado (Tabla 2).

Tabla 2. Descripción de los tratamientos según el aditivo utilizado

Clave de identificación de los tratamientos	Aditivo
T1	Testigo
T2	Levadura
T3	EM
T4	Lacto suero

Fuente: elaboración propia.

El croquis de la disposición y dimensiones de los tratamientos se muestra en la Figura 2.

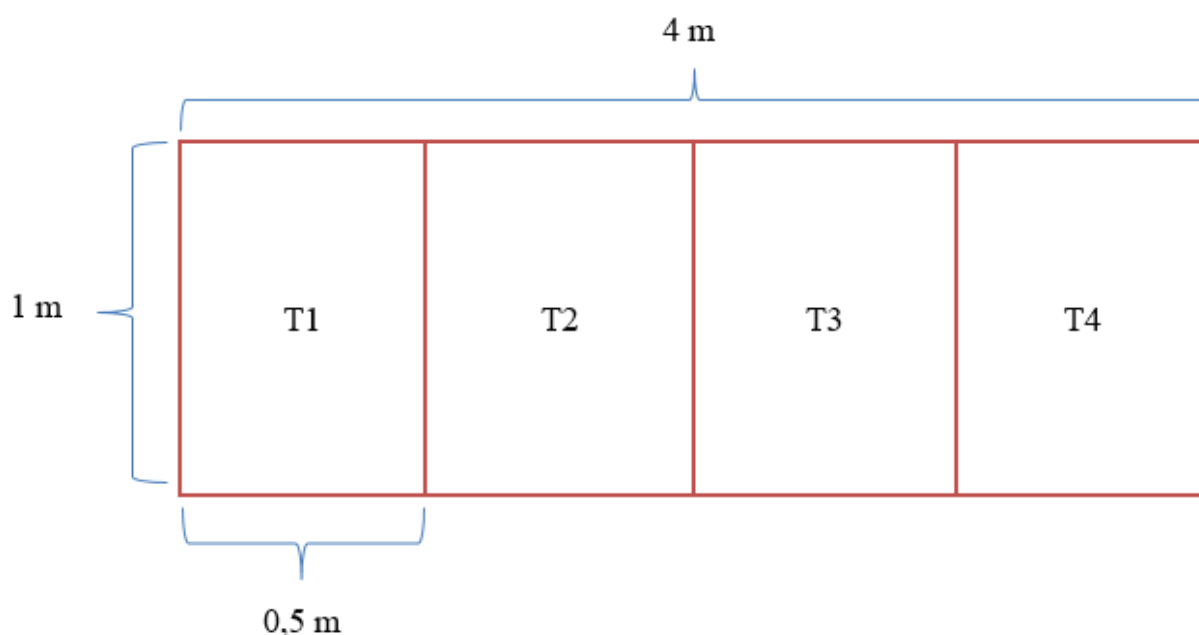


Figura 2. Croquis de la ubicación de los 4 tratamientos. T1: testigo; T2: levadura; T3: ME; T4: lacto suero.
Fuente: elaboración propia

Obtención y adecuación de la materia prima.

Los residuos vegetales fueron obtenidos de la plaza de mercado, del centro de acopio, verdulerías del municipio y del restaurante de la universidad de Pamplona. Materiales como la cal, gallinaza, melaza, carbón y roca fosfórica se obtuvieron en las agropecuarias y centro de acopio de la ciudad de Pamplona. Los microorganismos eficientes fueron suministrados por la finca Sol Vida, el lacto suero por la quesera Magdis de Pamplona y se utilizó levadura de pan comercial (Figura 3).



Figura 3. Insumos utilizados para la elaboración: a) melaza; b) EM lacto suero y levadura; c) carbón y cal; d) roca fosfórica; e) gallinaza; f) desechos vegetales.

Fuente: elaboración propia.

Posteriormente los materiales sólidos fueron triturados y distribuidos en las cantidades requeridas (Tabla 3).

Tabla 3. Formulación para preparar 100 kg de cada uno de los tratamientos evaluados

Materiales	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Tratamiento 4
Gallinaza	12 kg	12 kg	12 kg	12 kg
Residuos vegetales	36 kg	36 kg	36 kg	36 kg
Tierra fértil	25 kg	25 kg	25 kg	25 kg
Melaza	6 L	6 L	6 L	6 L
Carbón	6 kg	6 kg	6 kg	6 kg
Cal	2,5 kg	2,5 kg	2,5 kg	2,5 kg
Roca fosfórica	3 kg	3 kg	3 kg	3 kg
Levadura		600 ml		

Microorganismos eficientes	250 g
Lacto suero (Suero de leche)	5,6 L

Nota: T1: testigo; T2: levadura; T3: ME; T4: lacto suero.

Fuente: elaboración propia.

Elaboración del abono bocashi.

Se tendieron los materiales sólidos en capas sobre una superficie dura (base de cemento) y se mezclaron hasta lograr una textura homogénea, se diluyó la mézala en agua y se adicionó poco a poco en las pilas para lograr una mejor distribución, de igual forma se diluyó en agua los EM, levadura y lacto suero y se adicionaron en el tratamiento correspondiente. Se mezclaron todos los materiales en cada pila, se adicionó agua hasta un 55% de humedad medida con el TDR y se cubrieron los tratamientos con un plástico de polietileno negro. Los días posteriores dependiendo de la temperatura y humedad se realizaron los volteos necesarios (Figura 4).



Figura 4. Preparación del abono bocashi. a) Mezcla de los materiales en cada tratamiento; b) pilas cubiertas con plástico de polietileno negro.

Fuente: elaboración propia.

Comparación de las variables fisicoquímicas en cada tratamiento.

Se realizó la medición de variables como el potencial de hidrogeno (pH), temperatura y contenido de humedad (%H).

Medición de la temperatura y % de humedad.

En cada tratamiento se efectuó la medición de la temperatura mediante un termómetro de mercurio y medición de la humedad con un TDR (Figura 5) todos los días durante la primera semana, se determinaron tres puntos para realizar las mediciones en cada tratamiento (Figura 5), las cuales consistieron en introducir el termómetro de mercurio y el TDR por la parte superior del abono en los 3 puntos a tresbolillo. Cada uno de estos puntos se consideró como una repetición, obteniendo 3 repeticiones por tratamiento. La primera medición se realizó a una profundidad de 5 cm, la segunda a 15 cm y la tercera a 25 cm. Los días posteriores, la medición se realizó cada semana.

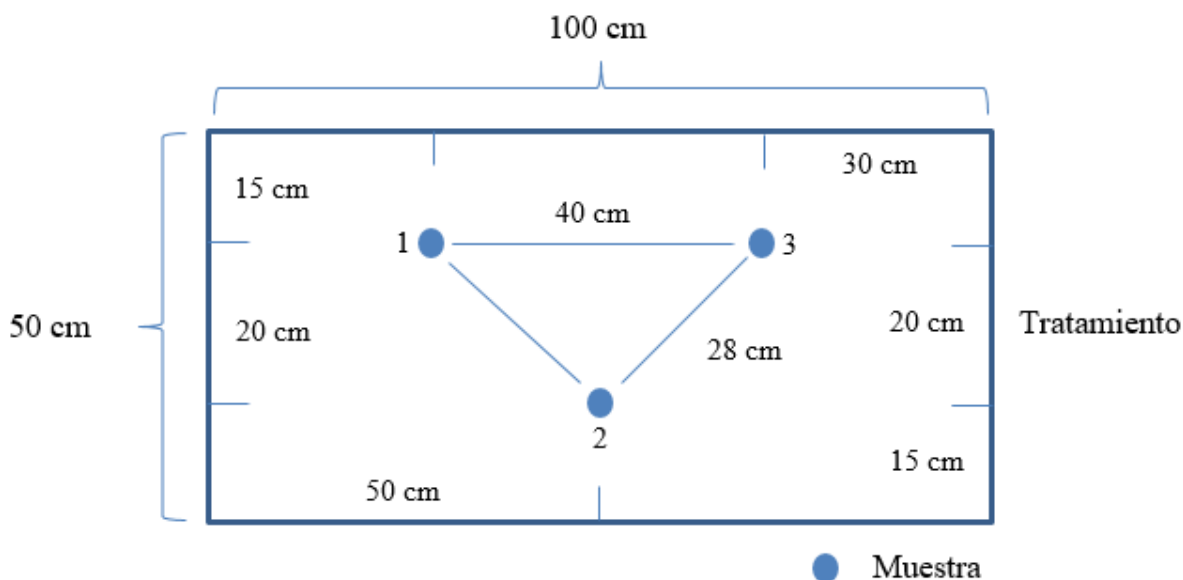


Figura 5. Distribución de los puntos para toma de muestras y mediciones en el tratamiento.
Fuente: elaboración propia.

Medición de temperatura y humedad en los puntos definidos en cada una de las formulaciones (Figura 6).



Figura 6. Medición de la humedad (a) y temperatura (b).
Fuente: elaboración propia.

Determinación del pH.

La medición del pH se realizó una vez por semana, para ello, se tomaron tres muestras de 5 gr cada una, en cada uno de los puntos de muestreo definidos para cada tratamiento (Figura 5), la primera muestra a una profundidad de 5 cm, la segunda a 15 cm y la tercera a 25 cm, las muestras se mezclaron homogéneamente (obteniendo 4 muestras de 15 g correspondientes a cada tratamiento) y fueron llevadas al Laboratorio de Control de Calidad.

Medición de pH mediante el potenciómetro. La medición del pH se realizó según la metodología descrita en la Norma Técnica Colombiana (NTC) 5167, lo cual consistió en el pesado de 10 g de la muestra de cada tratamiento en un recipiente, se adicionó 10 mL de agua destilada y se agitó durante 15 minutos. Cada muestra se dejó en reposo por una hora. Se realizaron tres lecturas por muestra con el potenciómetro con electrodo previamente calibrado, sumergiendo el electrodo en la suspensión (Figura 7).



Figura 7. Medición de pH mediante el potenciómetro.
Fuente: elaboración propia.

Procesamiento de la información.

Los datos obtenidos fueron tabulados mediante el programa de Microsoft Excel 2016 y se realizaron gráficas para el análisis de las variables de temperatura y humedad durante los primeros 7 días DDE.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza unifactorial (ANOVA), para las variables de temperatura, humedad y pH para determinar diferencias estadísticas entre los tratamientos considerando como repeticiones los datos tomados en cada uno de los puntos de muestreo definidos en cada una de las pilas. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) por medio del software IBM SPSS Statistics versión 25.

Identificación de la biodiversidad microbiana del abono bocashi.

Se realizó la estimación de las poblaciones de microorganismos de hongos bacterias fijadoras de nitrógeno, levadura y bacterias solubilizadoras de fosforo mediante aislamientos microbiológicos y conteos de las unidades formadoras de colonias (UFC) en los medios de cultivo definidos.

Toma de muestras.

Se tomaron 3 muestras de 3.5 g en los puntos definidos para muestreo (Figura 3) en cada tratamiento de los biopreparados a los 20 DDE y a los 40 DDE el abono, las muestras se mezclaron homogéneamente obteniendo 4 muestras, las cuales fueron llevadas al laboratorio de Bacteriología y Laboratorio Clínico.

Medios de cultivo.

Se utilizaron los medios Rosa de Bengala, Ashby, Standard Plate Count (SPC) y Pikovskaya, estos fueron suministrados por el laboratorio de Bacteriología y Laboratorio Clínico de la Universidad de Pamplona.

Preparación de diluciones.

Se pesó 5 g de la muestra y se adicionó en 25 mL de agua peptona, se colocaron en el agitador mezclador hasta homogenizar la mezcla correspondiente a la dilución 1×10^{-1} , se tomó un mL de la solución y se adiciono en 10 mL de agua peptona, se repitió hasta lograr la dilución 1×10^{-3} respectivamente para las 4 muestras (Figura 8).



Figura 8. Diluciones para cada tratamiento.

Fuente: elaboración propia.

Siembra en los medios de cultivo.

Se realizó siembra vertido en placa, la cual consistió en pipetear 1 mL de la dilución en el centro de una caja de Petri estéril, luego se adicionó el medio de cultivo líquido, se tapó y homogenizo. Para los medios de cultivo Ashby, SPC y Pikovskaya se utilizó la dilución 1×10^{-3} . En el medio Rosa de Bengala se realizó siembra masiva, esto consistió en pipetear sobre una caja de Petri con el medio solido 1 ml de la dilución 1×10^{-2} y con un palillo o hisopo de algodón estéril se realizó la siembra. Se sembraron 3 placas por medio de cultivo, es decir 3 repeticiones para cada una de las muestras correspondientes a los 4 tratamientos, para un total de 12 placas por tratamiento y 48 en total para cada uno de los análisis realizados a los 20 y 40 días después de la elaboración (Figura 9).

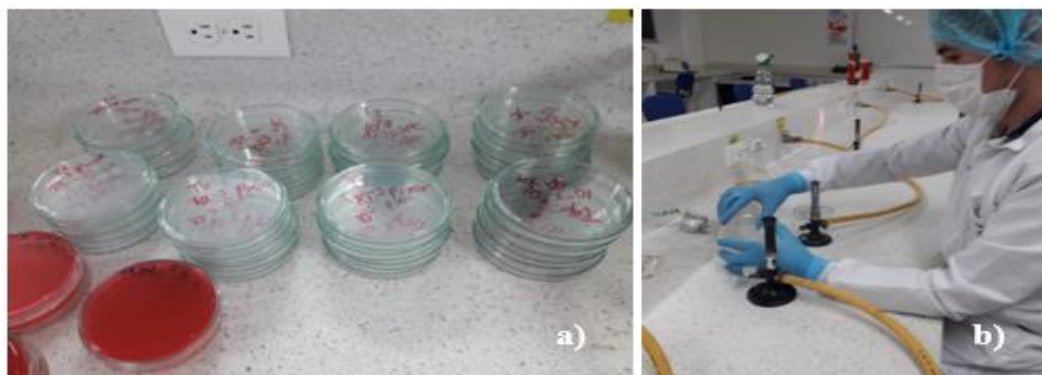


Figura 9. a) Cajas de Petri listas para siembra; b) siembra por inmersión.
Fuente: elaboración propia.

Identificación y conteo de colonias.

Los medios de cultivo fueron llevados a 37°C , el conteo de las unidades formadoras colonias (UFC) se realizó con el contador de colonias; para el medio de cultivo SPC el conteo se realizó a las 24 horas (Levaduras), el medio Ashby a las 24 horas (Bacterias fijadoras de nitrógeno), medio Rosa de Bengala a las 48 horas (Hongos) y el medio Pikovskaya a las 72 horas (Bacterias solubilizadoras de fosforo) (Figura 10).

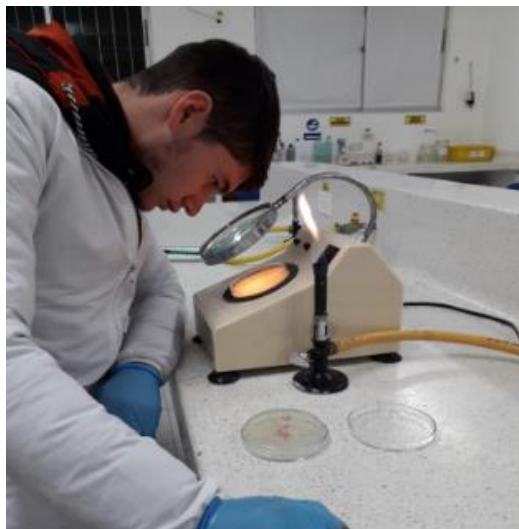


Figura 10. Conteo de UFC en cada medio de cultivo.

Fuente: elaboración propia

Procesamiento de la información.

Los datos fueron tabulados mediante el programa de Microsoft Excel 2016.

Análisis estadístico:

Se realizó un análisis de varianza unifactorial (ANOVA), para los valores de las UFC observadas en cada medio de cultivo para determinar diferencias estadísticas entre los tratamientos considerando como repeticiones la siembra de las 3 cajas de Petri definidas para cada medio de cultivo en cada tratamiento. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) por medio del software IBM SPSS Statistics versión 25.

Evaluación del tiempo de maduración en cada una de las formulaciones.

Se realizó una evaluación cualitativa la cual consistió en medir mediante escalas de forma visual el color y olor del abono a los 21, 28, 35 y 42 DDE. Se tuvieron en cuenta los resultados de temperatura como parámetro de calidad para definir el tiempo de maduración.

Determinación del olor. Se utilizó la escala con 3 grados de olor descrita por Ávila (2015) la cual se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Escala de olor

Olor	Grado
Muy desagradable	3
Desagradable	2
Agradable	1

Fuente: elaboración propia.

Determinación del color.

Teniendo en cuenta el criterio de Vásquez et al. (2018) el cual describe un color grisáceo en un abono bocashi maduro, se adaptó a la escala descrita por Ávila (2015) para abono compost como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Escala de color

Color	Grado
Original	3
Marrón oscuro	2
Grisáceo	1

Fuente: elaboración propia.

Procesamiento y análisis de los datos.

Los datos fueron tabulados mediante el programa de Microsoft Excel 2016. Se realizaron tablas para el análisis de los datos de cada variable olor y color.

Determinación de la concentración de nutrientes en los diferentes tratamientos.

Se realizó la determinación de las concentraciones de materia orgánica (MO), nitrógeno (N), fósforo (P_2O_5), potasio (K_2O), Calcio (Ca) y magnesio (Mg).

Toma de muestras.

Para cada tratamiento se tomaron 3 muestras de abono de 20 g en los puntos definidos para muestreo (Figura 3); una superficial a 5 cm de profundidad, un intermedia a 15 cm y una en la base a 25 cm de profundidad, se mezclaron homogéneamente y se tamizó la muestra de cada tratamiento. Las muestras fueron llevadas al laboratorio de Control de Calidad de la Universidad de Pamplona (Figura 11).



Figura 11. Muestras de abono.
Fuente: elaboración propia.

Determinación de la materia orgánica.

Se determinó mediante el método por ignición o calcinación, el cual consiste en la destrucción climatizada de toda la materia orgánica de la muestra descrito por Ruíz et al. (2018) quienes realizaron una comparación del método de combustión húmeda (Walkley y Black) comúnmente utilizado en análisis de abonos orgánicos, comparado con el método por calcinación, se analizó el humus de lombriz, sustrato orgánico, abono orgánico y sustrato de caña humificada, obteniendo como resultados que no se encontró diferencia estadística entre los dos métodos.

Se utilizaron 4 crisoles definidos para las 4 muestras se pesaron los crisoles sin la muestra en una balanza analítica, después se pesaron los crisoles con 10 g de la muestra seca al ambiente, seguidamente se introdujeron los crisoles con la muestra en la mufla a 105°C, una hora después

se retiraron los crisoles de la mufla y se colocaron dentro del desecador durante 10 minutos. Se tomaron los pesos de la muestra seca y se llevaron los crisoles a 550°C durante una hora y media, se retiraron las muestras y se colocaron en el desecador hasta enfriar a temperatura ambiente. Se pesaron las muestras y se registraron los datos (Figura 12). Para cada tratamiento se registraron 3 pesos en cada medición. El contenido de materia orgánica expresado en porcentaje se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$\%MO = \left[\frac{P1 - P2}{P2 - C} \right] * 100$$

Dónde: P1= peso en g del abono antes de la calcinación; P2= peso en g del abono después de la calcinación; C= peso en g del crisol.



Figura 12. Determinación de la MO por calcinación. a) peso de 10g de la muestra en cada crisol; b) muestra a 105°C; c) muestra en el desecador; d) muestra a 550°C.

Fuente: elaboración propia.

Determinación de Nitrógeno total.

Gamarra et al. (2016) menciona que el contenido de nitrógeno es 5% del contenido de materia orgánica, a partir de este criterio describe que la relación entre MO por 0,05 determina el N total en porcentaje, por consiguiente, se utilizó la siguiente fórmula teniendo en cuenta los 3 datos obtenidos de MO en cada tratamiento:

$$N \text{ total} = M.O.* 0,05$$

Determinación del fósforo, potasio, calcio y magnesio.

Las muestras tomadas en cada uno de los tratamientos fueron enviadas al laboratorio de Control de Calidad para el análisis de las mismas. Las concentraciones de los macronutrientes se determinaron mediante el método de Espectrofotómetro de absorción atómica, utilizado por Suclupe (2019) como método para análisis de abono bocashi. Consiste en un proceso de atomización, el cual se basa en la medida de la absorbancia de una radiación electromagnética a una longitud de onda característica del elemento a medir. Se tomaron tres lecturas para cada una de las muestras.

Procesamiento de la información.

Los datos fueron tabulados mediante el programa de Microsoft Excel 2016.

Análisis estadístico.

Se realizó un análisis estadístico de varianza unifactorial (ANOVA), para las variables de MO, N, P, K, Ca y Mg para determinar diferencias estadísticas entre tratamientos considerando como repeticiones las lecturas tomadas en cada una de las muestras. La comparación de medias mediante se realizó la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) por medio del software IBM SPSS Statistics versión 25.

6. Resultados y análisis de resultados

Comparación de las variables fisicoquímicas en cada tratamiento

Temperatura.

El aumento de la temperatura se presentó a partir del tercer día, siendo el lacto suero el tratamiento con mayor temperatura (44,9°C) y el testigo con la menor temperatura (29°C). Los días 4 y 5 hubo un aumento de la temperatura en todos los tratamientos, siendo el lacto suero el tratamiento con mayor temperatura (60,4°C) difiriendo del testigo (42°C), mientras que el día 6 la levadura presentó mayor temperatura (61,2°C) y el testigo la más baja (45°C). El día 7 hubo un decrecimiento de la temperatura manteniéndose el tratamiento con lacto suero con la mayor temperatura (54,3°C) y el testigo con la menor temperatura (46,1°C) (Figura 13).

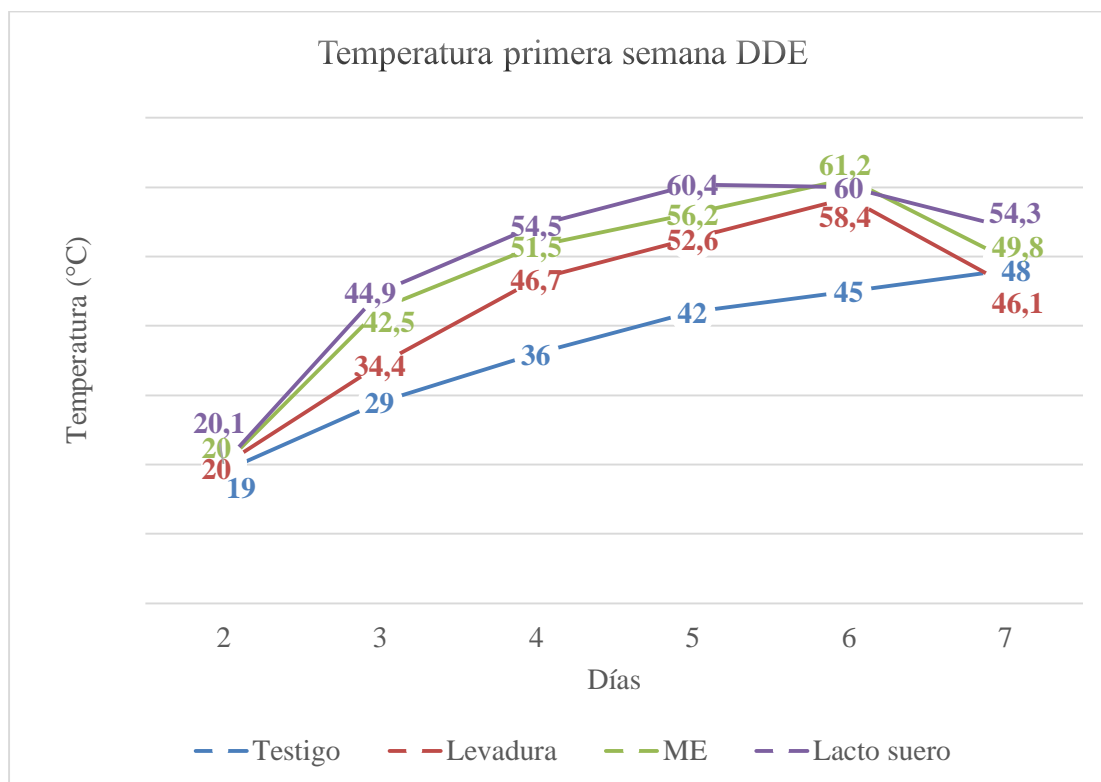


Figura 13. Promedio de temperatura/día, desde el día 2 al día 7.

Fuente: elaboración propia.

Análisis de varianza unifactorial (ANOVA).

A los 7 días DDE hubo diferencia estadística entre los tratamientos, siendo el lacto suero el tratamiento con mayor temperatura (45,20°C) y la levadura el tratamiento con menor temperatura (46,20°C). A los 14 días hubo diferencia estadística entre los tratamientos, manteniéndose el lacto suero con mayor temperatura (46,62°C) y la levadura con menor temperatura (39,27°C). A los 21 días hubo diferencia estadística entre los tratamientos testigo (28,97°C) siendo este quien presentó mayor temperatura y el lacto suero (27,10°C), los tratamientos con levadura y ME no presentaron diferencia estadística, siendo los ME el tratamiento con menor temperatura (25,67°C). A los 28 días hubo diferencia estadística entre los tratamientos testigo siendo este el que presento mayor temperatura (23,25°C) en comparación con los demás tratamientos. A los 35 días no hubo diferencia estadística entre los tratamientos con levadura, EM y lacto suero, aunque si difirieron del testigo, siendo este el que presento mayor temperatura (17,47°C). A los 41 días no hubo diferencia estadística entre los tratamientos (Tabla 3).

Tabla 6. Análisis estadístico para temperatura en cada tratamiento

Tratamiento	Temperatura DDE (°C)					
	7	14	21	28	35	42
Testigo	47,45c	40,90c	28,97a	23,25a	17,47a	18,15a
Levadura	46,20d	39,27d	26,05c	21,12bc	16,25b	19,92a
ME	49,90b	43,42b	25,67c	20,85c	16,05b	18,92a
Lacto suero	54,20 ^a	46,62a	27,10b	21,65b	16,05b	18,30a
CV (%)	6,08	5,52	6,67	5,87	3,01	17,42
ET	0,21	0,18	0,17	0,13	0,06	0,37

Nota: Letras desiguales en las columnas difieren para $P \leq 0,05$ por la prueba de Tukey.

Fuente: Elaboración propia.

En el aérea del CISVEB de Pamplona la temperatura promedio es de 14°C (Universidad de Pamplona, 2013), lo cual pudo influir en que se desarrollara un proceso más lento, donde el

aumento de la actividad microbiana comenzó a partir de las 48 horas después de la elaboración. La temperatura en todos los tratamientos estuvo dentro de los rangos normales no mayores a 60°C hasta 62°C como lo describe Bertolí et al. (2015). Los tratamientos con lacto suero y ME presentaron los valores más altos de temperatura hasta el día 6 (60,4°C y 61,2°C respectivamente), evidenciando el efecto de estos aditivos en la actividad microbiana durante la primera etapa de estabilización del abono durante la fermentación, en comparación con el testigo donde la temperatura presentó los valores más bajos, con una actividad microbiana más lenta entre los primeros 7 días (19°C a 49°C entre el día 2-7).

Según Ramos et al. (2014), el aumento de la temperatura se logra a partir de la acción de una amplia y heterogénea población microbiana quimio heterotrófica de hábitos mesófilos, los cuales van siendo sustituidos por otros microorganismos termófilos, esto a su vez está influenciado por la disponibilidad de los residuos vegetales, hasta que se establece de nuevo una etapa mesófilos donde la temperatura disminuye a medida que los sustratos carbonados son metabolizados y se establece la segunda etapa de maduración que se desarrolla de forma más lenta, esto último se evidencia a partir del día 7 cuando en todos los tratamiento la temperatura comienza a disminuir en todos los tratamientos hasta la estabilización del abono a temperatura ambiente específicamente entre los días 35 y 42. El testigo presento mayor temperatura a partir del día 21 hasta el día 35 (28,97°C a 17,47°C) evidenciándose un proceso más lento en el tratamiento.

A partir de los 21 días y hasta el día 35 el tratamiento con EM presento menor temperatura (25,67°C a 16,05°C), de manera general el abono a los 35 días ya estuvo terminado al regularse a temperatura ambiente, Vásquez et al. (2018), obtuvo un tiempo de maduración de abono bocashi a los 28 días cuando la temperatura se aproximó a temperatura ambiente, dentro de las características generales.

Humedad.

El día 2 se presentó mayor porcentaje de humedad en el tratamiento con lacto suero (58%) y menor en la levadura (38%). El día 3 la humedad bajó manteniéndose el lacto suero con mayor humedad (48%) y la levadura con menor humedad (38%). El día 4 aumento la humedad siendo más alta en el lacto suero (79%) y más baja en el testigo (55%), El día 5 la humedad disminuye siendo el testigo quien presento mayores valores (63%) y la levadura junto con ME los más bajos (51%). El día 6 EM presento mayor humedad (62%) siendo la levadura la más baja (54%). El día 7 hubo un aumento de la humedad donde el lacto suero presento mayor humedad (80) y el testigo la más baja (44%) (Figura 14).

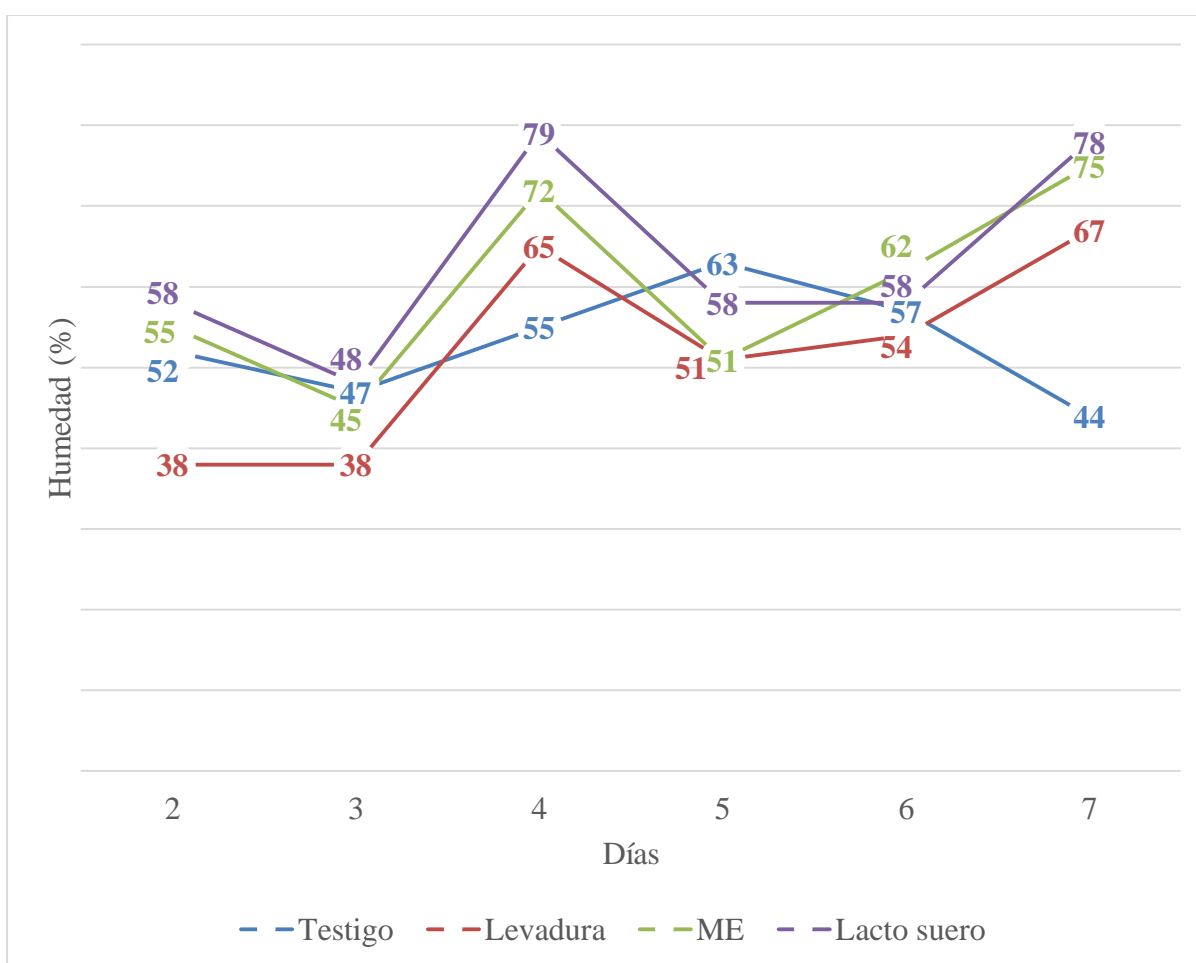


Figura 14. Promedios de humedad durante los días 2 a 7.

Fuente: elaboración propia.

Análisis de varianza unifactorial (ANOVA).

A los 7 días hubo diferencia estadística entre los tratamientos levadura (66,92%) y el testigo (44,10%). A los 14 días hubo diferencia estadística de la levadura con respecto a los demás tratamientos, siendo este el tratamiento con mayor humedad (62,15%). A los 21 días no hubo diferencia estadística entre los tratamientos. A los 28 días hubo diferencia estadística del testigo (20,10%) y EM (18,42%). A los 35 días hubo diferencia estadística entre EM con mayor humedad (20,22%) con respecto a los tratamientos lacto suero (17,70%) y testigo (18,60%). A los 42 días no hubo diferencia estadística entre los tratamientos (Tabla 7).

Tabla 7. Análisis estadístico para humedad en cada tratamiento

Tratamiento	Humedad DDE (%)					
	7	14	21	28	35	42
Testigo	44,10c	49,87b	17,75a	20,10a	18,60b	23,72a
Levadura	66,92b	62,15a	17,75a	19,45ab	18,90ab	22,50a
ME	75,20a	50,50b	16,15a	18,42b	20,22a	18,47a
Lacto suero	78,87a	47,32b	18,05a	19,32ab	17,70b	18,27a
CV (%)	27,93	33,67	28,84	17,57	17,39	75,01
ET	1,13	1,21	0,6	0,38	0,38	1,7

Nota: Letras desiguales en las columnas difieren para $P \leq 0,05$ por la prueba de Tukey.

Fuente: elaboración propia.

La humedad está estrechamente ligada a la actividad de los microorganismos, Salazar (2018) describe los rangos adecuados para que haya una buena fermentación (40% a 60%), como se evidencia durante los días 2 y 3 la humedad se mantuvo dentro de este rango, a excepción de la levadura (38%) un tanto por debajo, de igual forma se describen valores superiores a 60% en los demás tratamientos los días 4 y 7.

Bohórquez (2013), menciona que si se asegura una buena aireación según el método empleado (volteo) y el tamaño de las partículas de los materiales utilizados, puede haber teóricamente una descomposición aeróbica dentro de los rangos de 30% a 70% de humedad, teniendo en cuenta que la importancia del agua para los microorganismos radica en que es necesaria para sus procesos metabólicos.

El día 4 la humedad se elevó por encima del 60% especialmente en el lacto suero (79%) lo cual perjudica la aireación debido a que los micro poros presentan un estado anaeróbico (Coronado, 2011). Los días 5 y 6 la humedad se regula (51% a 63%) a excepción del día 7 donde se eleva a 78,87% en el tratamiento con lacto suero. A los 14 días la humedad se mantiene dentro de los rangos adecuados. A partir del día 21 al 45 la humedad desciende con valores de 16% a 23,72%. Según la FAO (2011), recomienda para compostaje maduro un rango de humedad de 30% a 40%, por lo tanto, los valores obtenidos a partir de los 21 días estas por debajo del rango ideal.

Potencial de hidrogeno (pH).

El día 7 se presentó diferencia estadística entre los tratamientos testigo (6,58) y levadura (6,38), los cuales también difirieron de EM (6,85) y lacto suero (6,81). A los 14 días el tratamiento con lacto suero difirió de los demás tratamientos, presentando el pH más alto (8,5). El día 21 hubo diferencia estadística entre EM con el pH más alto (8,50) en comparación con los demás tratamientos. Para los días 28 al 42 no se presentó diferencia estadística entre los tratamientos (Tabla 8).

Tabla 8. Análisis estadístico para el pH entre los tratamientos

Tratamiento	Potencial de hidrogeno DDE (pH)					
	7	14	21	28	35	42
Testigo	6,58b	8,17ab	8,21ab	7,98a	7,71a	7,49a
Levadura	6,38c	7,89b	7,86b	7,85a	7,85a	7,44a
ME	6,85a	8,33ab	8,50a	7,88a	7,68a	7,51a
Lacto suero	6,81a	8,5a	8,30ab	7,77a	7,76a	7,61a
CV (%)	1,22	6,61	7,06	3,38	3,4	5,15
ET	0,018	0,1	0,11	0,054	0,054	0,081

Nota: Letras desiguales en las columnas difieren para $P \leq 0,05$ por la prueba de Tukey.

Fuente: elaboración propia.

Según la norma NTC 5167 para productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo del ICONTEC (2011), el pH debe estar entre 4 y 9 debido a su efecto sobre los microorganismos del suelo y nutrientes disponibles para las plantas; este se mantuvo dentro de los rangos adecuados permitidos con una variación entre 6,38 el día 7 en la levadura hasta un 8,50 en el día 21 para EM. Al inicio del proceso el pH tiende a ser bajo, a los 7 días se presenta ligeramente ácido (6,38 en la levadura) a neutro, probablemente debido a la descomposición de compuestos solubles como azúcares, lo cual produce ácidos orgánicos, posteriormente los microorganismos actúan transformando el nitrógeno en amoníaco por lo que el pH del medio sube de igual forma que la temperatura (Román, Martínez y Pantoja, 2013), lo cual se evidencia hasta el día 21 donde EM presentó el pH más alto (8,50). Del día 28 al 42 el pH disminuye en la etapa de enfriamiento y maduración pasando de moderadamente alcalino a ligeramente alcalino (7,98 en el testigo a 7,44 en la levadura).

Identificación de la biodiversidad microbiana del abono bocashi.

Para bacteria fijadoras de N el testigo difirió de los demás tratamientos con la menor población de microorganismos ($1,33 \times 10^4$). Las poblaciones de levaduras, hongos y bacterias solubilizadoras de fosforo no presentaron diferencia estadística entre los tratamientos (Tabla 9).

Tabla 9. Análisis estadístico para las poblaciones de microorganismos a los 20 DDE.

Tratamiento	Unidades Formadoras de Colonias (UFC/g de abono)			
	Bacterias fijadoras de N	Levaduras	Hongos	Bacterias solubilizadoras de P
Testigo	$1,33 \times 10^4$ b	$4,93 \times 10^4$ a	$2,5 \times 10^4$ a	$2,9 \times 10^4$ a
Levadura	$3,79 \times 10^5$ a	$7,7 \times 10^4$ a	$2,6 \times 10^4$ a	$3,1 \times 10^4$ a
ME	$4,39 \times 10^5$ a	$1,06 \times 10^5$ a	$4,3 \times 10^4$ a	$3,2 \times 10^4$ a
Lacto suero	$8,6 \times 10^4$ ab	$2,73 \times 10^5$ a	$3,2 \times 10^4$ a	$4,0 \times 10^4$ a
CV (%)	69,96	92,62	18,09	41,09
ET	2,43	2,83	0,4	0,93

Nota: Letras desiguales en las columnas difieren para $P \leq 0,05$ por la prueba de Tukey.
Fuente: elaboración propia.

Para las poblaciones de microorganismos bacterias fijadoras de N en el tratamiento con lacto suero presentó mayor UFC ($1,62 \times 10^6$ UFC) difiriendo de los demás tratamientos. Para las poblaciones de levaduras hubo diferencia estadística entre el lacto suero ($8,03 \times 10^4$ UFC) y la levadura ($1,74 \times 10^5$ UFC), esta última difiriendo del testigo el cual presento menor UFC ($4,6 \times 10^4$ UFC). En las poblaciones de hongos hubo diferencia estadística entre la levadura con mayor UFC ($1,74 \times 10^4$ UFC) y el testigo con menor UFC ($3,46 \times 10^3$ UFC). Para bacterias solubilizadoras de fosforo el testigo difirió con menor UFC ($2,6 \times 10^3$ UFC) de los tratamientos levadura ($1,12 \times 10^4$ UFC) y lacto suero ($1,20 \times 10^4$ UFC) (Tabla 10).

Tabla 10. Análisis estadístico para las poblaciones de microorganismos a los 40 DDE.

Tratamiento	Unidades Formadoras de Colonias (UFC/g de abono)			
	Bacterias fijadoras de N	Levaduras	Hongos	Bacterias solubilizadoras de P
Testigo	6,88 x10 ⁵ b	4,6 x10 ⁴ c	3,46 x10 ³ b	2,6 x10 ³ b
Levadura	4,16 x10 ⁵ b	1,65, x10 ⁵ a	1,74 x10 ⁴ a	1,12x10 ⁴ a
ME	6,32 x10 ⁵ b	1,25 x10 ⁵ ab	9,36 x10 ³ ab	6,63 x10 ³ ab
Lacto suero	1,62 x10 ⁶ a	8,03 x10 ⁴ bc	9,4 x10 ³ ab	1,20x10 ⁴ a
CV (%)	31,02	26,54	28,26	34,8
ET	1,57	0,8	0,85	0,98

Nota: Letras desiguales en las columnas difieren para $P \leq 0,05$ por la prueba de Tukey.

Fuente: elaboración propia.

La descomposición de la materia orgánica tiene lugar gracias a la acción de los microorganismos (Bohórquez, 2013), su actividad está determinada por los insumos utilizados, por lo tanto, los factores que afecten la actividad de las poblaciones de microorganismos afectaran directamente la calidad del abono. Para evidenciar las poblaciones de microorganismos Amézquita (2018), señala los análisis microbiológicos que se realizan del abono bocashi, mediante aislamientos microbiológicos y conteo de UFC (hongos, actinomicetos y levaduras). Debido a que los análisis se realizaron a los 20 y 40 DDE no se determinaron las poblaciones durante la primera etapa de elaboración especialmente en la etapa mesófilos donde según Bertolí et al. (2015), durante esta etapa predominan bacterias y hongos mesófilos especialmente del genero *Bacillus* indicando que el 10% de la descomposición es realizada por bacterias y del 15 al 30% por actinomicetos, sin embargo Piedrahita y Caviedes (2012), señala que en la etapa termófila las poblaciones de actinomicetos y hongos se reducen y que durante la estabilización y maduración del abono cuando los materiales lábiles han desaparecido los predominantes son actinomicetos, hongos y levaduras, como se evidencia a los 20 DDE un mayor número de UFC

para bacterias fijadoras de N y solubilizadoras de P, hongos y levaduras, poblaciones que aumentan a los 40 DDE con mayor UFC en el lacto suero para bacterias fijadoras de N ($1,62 \times 10^6$ UFC), evidenciando menor UFC para las poblaciones de levaduras, hongos y bacterias solubilizadoras de P en el testigo ($4,6 \times 10^4$ UFC, $3,46 \times 10^3$ UFC y $2,6 \times 10^3$ UFC respectivamente).

Los valores de UFC de las poblaciones de microorganismos de hongos fueron de $3,46 \times 10^3$ UFC en el testigo hasta $1,74 \times 10^4$ UFC en el tratamiento con levadura y las poblaciones de levaduras fueron de $2,6 \times 10^3$ UFC en el testigo hasta $1,12 \times 10^4$ UFC en el tratamiento con levadura a los 40 días cuando el abono se encontraba terminado, los cuales estuvieron por encima de las poblaciones de microorganismos de los resultados descritos por Bertolí et al. (2015) sobre la elaboración de un abono bocashi obtenido a los 21 días con valores para hongos de $2,7 \times 10^3$ UFC y $1,0 \times 10^3$ UFC para levaduras.

Las poblaciones de bacterias fijadoras de N estuvieron entre $4,16 \times 10^5$ UFC en el tratamiento con levadura a $1,62 \times 10^6$ UFC en el lacto suero, resultados que coinciden con los obtenidos por Ávila (2015) con valores entre $2,3 \times 10^1$ UFC y $2,3 \times 10^6$ UFC en un abono compost.

Las bacterias solubilizadoras de fosforo presentaron valores más altos a los 20 DDE sin diferencia estadística entre los tratamientos a diferencia de los 40 DDE donde los valores fueron más bajos, disminuyendo su población cuando el abono se estabiliza en el proceso de maduración.

Evaluación del tiempo de maduración en cada una de las formulaciones.

Olor.

A los 21 DDE los tratamientos levadura, ME y lacto suero presentaron un olor desagradable (grado 2) en comparación con el testigo quien presenta un olor muy desagradable (grado 3). A

los 28 DDE el tratamiento con ME presenta un olor agradable (grado 1) en comparación con los demás tratamientos. Los días 35 y 42 todos los tratamientos presentaron un olor agradable (Tabla 11).

Tabla 11. Evaluación del grado de olor presente en cada tratamiento.

Tratamiento	Olor (DDE)			
	21	28	35	42
Testigo	3	2	1	1
Levadura	2	2	1	1
ME	2	1	1	1
Lacto suero	2	2	1	1

Nota: escala: Grado 3 = muy desagradable, grado 2= desagradable y grado 1= agradable.

Fuente: elaboración propia.

Ramos y Terry (2014) menciona que una de las características de calidad del abono cuando este se encuentra en su punto adecuado de madurez, es el olor agradable, es decir que no se forman gases tóxicos ni se emiten malos olores producto de la fermentación debido a que el proceso ha terminado, según este criterio, el tratamiento con EM presentó un olor agradable a partir de los 28 DDE, esto se debe a que la adición de ME permite una adecuada fermentación, mejora la actividad microbiana evitando la generación de malos olores por la descomposición de la materia orgánica, gallinaza o estiércol (Ávila, 2015). A partir de los 35 días todos los tratamientos presentaron un olor agradable, es decir que ya se encontraban en su punto adecuado de madurez. ICA (2015), describe dentro de las características organolépticas del compostaje un olor agradable a suelo de bosque.

Color.

A los 21 DDE los tratamientos levadura y testigo presentaron un color marrón claro (grado 3), en comparación con EM y lacto suero quienes evidenciaron un color marrón oscuro (grado 2). A los 28 DDE el testigo presentó un color marrón claro (grado 3) en comparación con los demás

tratamientos quienes presentaron un color marrón oscuro (grado 2). Los días 35 y 42 se observó un color grisáceo (Anexo 4) en todos los tratamientos (Tabla 12).

Tabla 12. Evaluación del grado de color presente en cada tratamiento

Tratamiento	Color (DDE)			
	21	28	35	42
Testigo	3	3	1	1
Levadura	3	2	1	1
ME	2	2	1	1
Lacto suero	2	2	1	1

Nota: escala: Grado 3 = marrón claro, grado 2= marrón oscuro y grado 1= grisáceo.
Fuente: elaboración propia.

Salazar (2018) menciona los cambios en las características físicas del abono como el cambio paulatino del color, específicamente hasta una tonalidad grisácea para un abono bocashi, color que se observó a los 35 días en todos los tratamientos, además de un aspecto seco y de consistencia suelta, resultados que coinciden con los descrito por Vásquez et al. (2018). El color se ve afectado inicialmente por los insumos utilizados, la humedad, la descomposición de la materia orgánica y por la producción de sustancias húmicas las cuales son de color marrón, pardo o amarillo y que constituyen el complejo de compuestos orgánicos (Piedrahita y Caviedes, 2012).

Determinación de la concentración de nutrientes en los diferentes tratamientos

Para MO no se presentó diferencia estadística entre los tratamientos lacto suero (51,57%) y levadura (51,09%), pero si difirieron de los tratamientos con EM (41,48%) y testigo (38,36). El contenido de N no presentó diferencia estadística entre los tratamientos lacto suero (2,57%) y levadura (2,55%), pero estos presentaron diferencia estadística, con respecto a los tratamientos con ME (2,08%) y testigo (1,91%). El contenido de P₂O₅ hubo diferencia estadística entre el Lacto suero con mayor porcentaje (1,39%) con respecto al testigo quien presentó menor

porcentaje (0,38%). Para K₂O se presentó diferencia estadística entre el lacto suero (0,149%) con respecto a microorganismos eficientes (0,096%) y el testigo (0,013%). En cuanto al Ca hubo diferencia estadística entre los tratamientos, siendo el lacto suero quien presentó mayor porcentaje de Ca (0,053%) y EM evidencio menor porcentaje (0,031%). El lacto suero presentó diferencia estadística en comparación con los demás tratamientos con el mayor porcentaje de Mg (0,014%) (Tabla 13).

Tabla 13. Análisis estadístico de los macronutrientes presentes en el abono

Contenido nutricional del abono bocashi para cada una de las formulaciones (%)						
Tratamientos	MO	N(Total)	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg
Testigo	38,36b	1,91b	0,38c	0,059c	0,038c	0,009b
Levadura	51,09a	2,55a	0,88b	0,116ab	0,042b	0,010b
ME	41,48b	2,08b	0,82b	0,096bc	0,031d	0,010b
Lacto suero	51,57a	2,57a	1,39a	0,149a	0,053a	0,014a
CV (%)	41,65	9,59	3,39	55,2	25,44	41,53
ET	1,62	0,08	0,018	4,16	3	2,59

Nota: Letras desiguales en las columnas difieren para $P \leq 0,05$ por la prueba de Tukey.

Fuente: elaboración propia.

La organización Mundial de la Salud (OMS) menciona dentro de los parámetros de calidad para abono orgánico, un porcentaje entre 25 y 50% de MO, valores que se lograron en todos los tratamientos hasta un 51.57% de MO en el lacto suero, esto pudo generarse por la actividad de los microorganismos que oxidan compuestos orgánicos, favorecen la desfragmentación de componentes de la MO permitiendo un aumento en los porcentajes de MO como menciona Navia et al. (2013).

Los porcentajes de N son similares a los descritos por Vásquez et al. (2018) con un 2,11% de N, de igual forma que los obtenidos por Kastdalen (2017) en la elaboración de un abono

orgánico con valores entre 1,5 y 2,7% de N. Por otra parte, los resultados cumplen con los parámetros de calidad en cuanto a N descritos por la OMS (0,4 a 3,5%).

Los porcentajes de P_2O_5 son similares a los descritos por Ramos y Terry (2014) con valores desde 0,5 a 5,3%, lo cual se encuentra relacionado con las poblaciones de bacterias solubilizadoras de fosforo mientras que para K_2O , Ca y Mg, los resultados fueron inferiores, sin embargo, Bertolí et al. (2015) comenta que no se debe sacar conclusiones a la ligera con respecto a los análisis nutricionales al compararlos con otros resultados, debido a que no son las mismas condiciones en el proceso de elaboración, principalmente considerando los insumos utilizados tales como los materiales orgánicos y su influencia sobre la actividad microbiana, también parámetros como la temperatura, humedad pH e incluso el volumen de la compostera son parámetros que intervienen en todo el proceso y afectan la calidad del producto obtenido, criterios definidos por la FAO (2011).

Parámetros de calidad según Norma Técnica Colombiana NTC 5167

Dentro de los parámetros físicos se evidencia que la humedad se encuentra por debajo de rango máximo en todos los tratamientos (<35%), el pH cumple con los rangos mínimos y máximos estipulados por la norma (>4 y <9). En los parámetros químicos se obtuvieron porcentajes de MO por encima del mínimo descrito (20%). El contenido de nitrógeno está dentro de lo declarado, por encima del 1%, al igual que el P_2O_5 . El porcentaje de K_2O , Ca y Mg se presentó por debajo del 1%.

Tabla 14. Resumen de los parámetros de calidad del abono bocashi

Norma Técnica Colombiana NTC 5167		Tratamientos (bioproductos obtenidos)			
Parámetros físicos		Testigo	Levadura	ME	Lacto suero
Humedad (%)	Máximo 35	23,72	22,5	18,47	18,27
pH	>4 y <9	7,49	7,44	7,51	7,61
Parámetros químicos					
Materia orgánica (%)	Mínimo 15	38,36	51,09	41,48	51,57
Nitrógeno total (%)	Se declaran si él % es >1	1,91	2,55	2,08	2,57
Fósforo (P ₂ O ₅) (%)		0,38	0,88	0,82	1,39
Bases intercambiables					
Potasio (K ₂ O) (%)		0,059	0,116	0,096	0,149
Calcio (%)	Se declaran si él % es >1	0,038	0,042	0,031	0,053
Magnesio (%)		0,009	0,01	0,01	0,014

Nota: Se describe el Fosforo y las bases intercambiables siendo los valores inferiores al 1%.

Fuente: elaboración propia.

Discusión

Los posibles efectos de la utilización de aditivos en el proceso de elaboración del bocashi comparados con el testigo, se evidenciaron en un aumento de la temperatura poniendo en manifiesto dos etapas de descomposición del abono, la mesófilos de corta duración donde se alcanza hasta 40°C y la termófila donde la temperatura se eleva hasta 60°C (Tabla 3) a pesar de que los aditivos lacto suero y EM permitieron un aumento de la temperatura durante la primera semana, estos no tienen un efecto directo sobre la calidad nutricional del abono (Tabla 13), por otra parte, el aumento de la temperatura favorece la desaparición de bacterias patógenas e incluso larvas y huevos de insectos (Ramos et al., 2014), además se produce energía calórica metabólica por parte de microorganismos benéficos, conforme varía la temperatura los microorganismos se adaptan y se establece ciertas poblaciones en cada etapa del proceso hasta la maduración, los valores de la UFC de bacterias resultan ser mayores que las de hongos, posiblemente porque son

microorganismos participantes en la nitrificación y amonificación, adicionalmente el reproducción de los hongos se desarrolla de forma más lenta que la de las bacterias (Tabla 10).

La utilización del suero de leche favoreció la actividad de microorganismos y bacterias fijadoras de nitrógeno, alcanzando un valor de 2.57%, teniendo en cuenta que como menciona Kastdalen (2017) el nitrógeno disminuye a lo largo del proceso por volatización y por excesos de humedad la cual puede provocar lixiviación de los nutrientes (Figura 14), Labarca, González, González y Jimenez (2018) menciona una relación de 25:35 de materia orgánica para una rápida fermentación y de esta manera evitar pérdidas por volatización cuando la relación es menor, por el contrario una relación mayor produce un mayor tiempo en el proceso de fermentación, por otra parte, este tratamiento se destaca dentro de los que presento los valores nutricionales más altos y según estos parámetros de calidad se describe como el mejor tratamiento (Tabla 14)

La humedad puede presentar cierta relación con los niveles bajos en los porcentajes obtenidos de K_2O , Ca y Mg, ya que durante la primera semana se alcanzaron valores por encima de 60% (Figura 12) provocando una pérdida de la calidad nutritiva por lavado de elementos solubles, otro factor son los sustratos utilizados como fuente vegetal, debido a que, según el tipo de material vegetal, los aportes al abono pueden ser diferentes.

A los 35 DDE los tratamientos presentaron un olor agradable, con una coloración grisácea y una temperatura ambiente (Anexo 5), por lo cual podemos considerar la obtención de un abono maduro a bajo las condiciones de Pamplona, teniendo en cuenta los índices de madurez descritos por Salazar (2018) y la FAO (2011).

La utilización de un abono con bajos niveles nutricionales genera que se deba utilizar mayor cantidad de los mismos en las aplicaciones, lo cual afecta los costos por fertilizantes, sin embargo, este aporta microorganismos benéficos al suelo (Ramos et al., 2016).

7. Conclusiones

1. La utilización de los aditivos en la elaboración del abono permitió un aumento de la temperatura hasta los 40°C en la etapa mesófilos y hasta superar los 60°C en la etapa termófila, destacándose el lacto suero, permitiendo una buena actividad microbiana, de igual forma, la humedad alcanzó los rangos adecuados entre 40 y 60%, incluso superiores en algún momento en las etapas de desarrollo de los bioproductos y el pH presentó valores dentro de los normales superiores a 4 e inferiores a 9.
2. Se evidencio la presencia de poblaciones de microorganismos benéficos como bacterias fijadoras de nitrógeno y solubilizadoras de fósforo, hongos y levaduras, destacándose las poblaciones para bacterias fijadoras de nitrógeno con la utilización del lacto suero con $1,62 \times 10^6$ UFC a los 40 DDE.
3. Se determinó un tiempo de maduración a los 35 DDE cuando el abono presentó una coloración grisácea de un aspecto seco y consistencia suelta, un olor agradable, humedad por debajo de 35%, pH entre 7,68 y 7,85 ligeramente alcalino y una temperatura ambiente bajo las condiciones del municipio de Pamplona, no obstante según el olor el tratamiento con EM presentó un olor agradable a los 28 DDE, mientras que el color se evidencio grisáceo a partir de los 35 DDE en todos los tratamientos.
4. Los tratamientos con los aditivos lacto suero y levadura presentaron mayor porcentaje de MO con 51,57 y 51,09% respectivamente, de igual forma evidenciaron mejor contenido de nitrógeno de 2,57 y 2,55% respectivamente cumpliendo con los parámetros definidos en la norma NTC 5167, sin embargo, se destaca el lacto suero presentando los valores más altos de P_2O_5 (1,39%), K_2O (0,149%), Ca (0,053%) y Mg (0,014%).

8. Recomendaciones

Continuar realizando investigaciones similares, ajustando las cantidades de los materiales utilizados, aumentar la cantidad de abono en las pilas e investigar en sustratos que permitan mejorar las características nutricionales especialmente del K, Ca y Mg.

Se recomienda la utilización del aditivo lacto suero para la elaboración de abonos tipo bocashi bajo las condiciones del municipio de Pamplona.

Seguir con la utilización de aditivos, realizando investigaciones con incorporaciones mezcladas de los mismos para mejorar las condiciones y actividad de microorganismos en las diferentes etapas de la elaboración, que permita obtener mejores resultados de calidad debido a que, las condiciones del municipio son de un clima frío.

Realizar pruebas en campo (ejemplo en cultivos de hortalizas) utilizando diferentes dosis de los bioproductos obtenidos para determinar sus efectos en el crecimiento y rendimiento de los cultivos, complementado con análisis microbiológicos y nutricionales del suelo como prueba de la calidad del mismo y sus posibles efectos benéficos.

9. Bibliografía

- Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2016). Plan de gestión integral de residuos sólidos –PGIRS. Secretaría del Habidad. Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos.
- Amézquita, M.A., (2018). *Niveles de Bocashi y microorganismos eficaces en el rendimiento de fresa (Fragaria x ananassa Duch) cv. Selva en condiciones de zonas áridas – irrigación Majes*. Tesis de pregrado. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú.
- Asamblea Nacional Constituyente. (2010). Constitución Política de Colombia 1991. Capítulo 3. Artículo 79,80. Corte Constitucional. Consejo Superior de la Judicatura. Sala Administrativa. Centro de Documentación Judicial (CENDOJ).
- Ávila, M. (2015). *Proceso de producción y aplicación del producto microorganismos eficaces en la calidad de compost a partir de la mezcla de tres tipos de residuos orgánicos, Sapallanga – Huancayo*. Tesis de grado. Universidad Nacional de Centro del Perú, Huancayo, Peru.
- Bertolí, M.B., Terry, E., y Ramos, D. (2015). Producción y uso del abono tipo bocashi. Una alternativa para la nutrición de los cultivos y calidad de los suelos. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), Mayabeque, Cuba.
- Boletínagrario, (2019). Aditivo. Recuperado de: <https://boletinagrario.com/ap-6,aditivo,1062.html>
- Boechat, C.L., Gonzaga, J.A., y Accioly, M. (2013). Net mineralization nitrogen and soil chemical changes with application of organic wastes with 'Fermented Bokashi Compost'. *Acta Scientiarum*, 35(2), 257-268. doi: <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v35i2.15133>

- Bohórquez, A. (2013). *Evaluación de la calidad del compost producido a partir de la molienda de caña de azúcar en la compañía Riopaila Castilla, Valle del Cauca, Colombia*. Tesis de postgrado. Palmira, Colombia.
- Congreso de la Republica de Colombia, (1979). Ley 09 de 1979. Medidas sanitarias. Bogotá: Secretaria Distrital de Salud.
- Congreso de la Republica de Colombia. (2008). Ley 1259/2008. República de Colombia - gobierno nacional.
- Consejo Nacional De Política Económica y Social. (2016). CONPES 3874. Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos. Bogotá: Departamento Nacional de Planeación.
- Coronado, S.G. (2011). Manual: Elaboración de Abono Orgánico Tipo Compost dirigido a estudiantes del ciclo de educación complementario del nivel primario de la Escuela Oficial Rural Mixta de la comunidad Las Tortugas, Cobán Alta Verapaz. Guatemala.
- Gamarra, C.C., Días, M.I., Vera de Ortíz, M., Pilar, M., y Cabrera, A. (2017). Relación carbono-nitrógeno en suelos de sistemas silvopastoriles de Chaco paraguayo. Paraguay. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(46). Doi: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i46.134>
- Gordón, V.P. (2013). *Utilización del suero de leche para la elaboración de abono orgánico (biol)*. Tesis de pregrado. Universidad Politécnica Estatal del Carchi, Tulcán, Ecuador.
- Instituto Colombiano Agropecuario ICA. (2015). Cartilla práctica para la elaboración de abono orgánico compostado en producción ecológica. Bogotá, Colombia

Instituto Colombiano Agropecuario. (2003). Resolución 00150/2003. Reglamento Técnico de Fertilizantes y Acondicionadores de Suelos para Colombia.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2011). Norma Técnica Colombiana NTC 5167. Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo.

Kastdalen, L.M. (2017). *Evaluación del efecto de la aplicación de levaduras y gallinaza en la elaboración de abono orgánico*. Tesis de pregrado. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Labarca, R.A., González, L.G., González, O.S., y Jiménez, M.C. (2018). Caracterización del abono Bocachi y su aplicación en el cultivo del pimentón (*Capsicum annum*, L.) en el estado Falcón. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria de Ciencias de la Educación, Turismo, Ciencias Sociales y Económica, Ciencias del Agro y Mar y Ciencias Exactas y aplicadas*, 3(6).

Loarte, L., Apolo, V., y Álvarez, P. (2018). Efecto del tiempo de maduración y de microorganismos eficientes en el contenido nutricional del bocashi. *Revista de la Universidad Nacional de Loja (CEDAMAZ)*, 8, 30-36.

Machuca, L.V., y Muñoz, A.M. (2018). *Evaluación de dos métodos de compostaje como alternativa de manejo de equinaza, sobre la producción de biomasa Brachiaria humidicola en campo ecológico Gramalote*. Tesis de pregrado. Universidad Santo Tomas, Villavicencio.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2002). Resolución 00072/2002. Reglamentación para productos agropecuarios. Bogotá, Colombia.

- Ministerio de Agricultura. (1974). Decreto 2811/1974, por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. República de Colombia.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2005). Decreto Nacional 838 de 2005. Diario Oficial No. 44.893, de 07 de agosto de 2002.
- Ministerio de Vivienda, ciudad y territorio. (2013). Decreto 2981/2013. Reglamentario del Servicio Público de aseo.
- Ministerio del Interior. (1993). Ley 99 de 1993, por la cual se organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA). Bogotá: Congreso de Colombia.
- Navia, C.A., Zemanate, Y., Morales, S., Prado, F.A., y Albán, N. (2013). Evaluación de diferentes formulaciones de compostaje a partir de residuos de cosecha de tomate (*Solanum lycopersicum*). *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 165 – 173.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2011). Elaboración y uso del Bocashi. FAO. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/at788s.pdf>
- Piedrahita, C.A., y Caviedes, D.A. (2012). *Elaboración de un abono tipo ‘Bocashi’ a partir de desechos orgánicos y sub productos de industria láctea (lacto suero)*. Tesis de pregrado. Universidad de San Buenaventura, Cali, Colombia.
- Ramos, D., y Terry, E. (2014). Generalidades de los abonos orgánicos, importancia del bocashi como alternativa para suelos y plantas. *Cultivos tropicales*, 35(4), 52-59.
- Ramos, D., Terry, E., Soto, F., Cabrera, A., Martín, G., y Fernández, L. (2016). Respuesta del cultivo de plátano a diferentes proporciones de suelo y bocashi, complementados

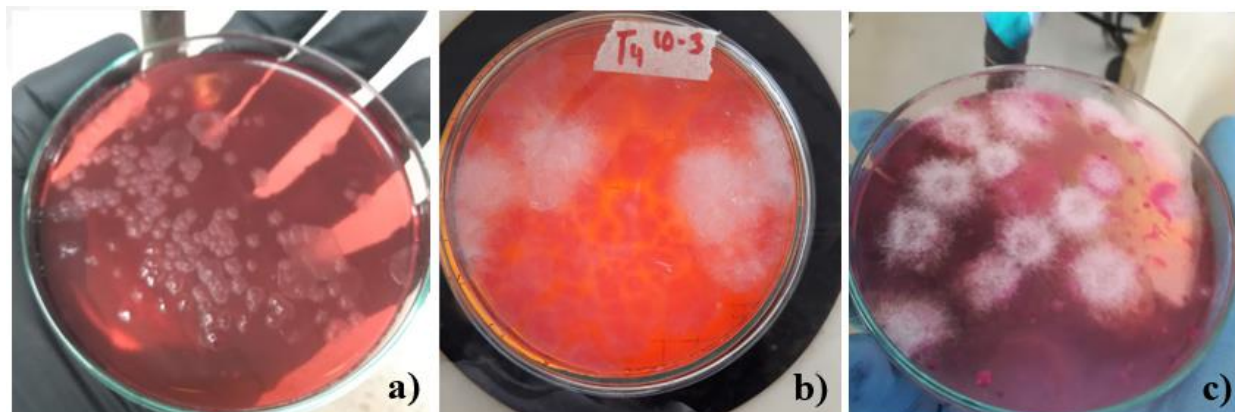
- con fertilizante mineral en etapa de vivero. Cuba. *Cultivos Tropicales*, 37(2), 165-174. Doi: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.2893.9763>
- Ramos, D., Terry, E., Soto, F., y Cabrera, J.A. (2014). Bocashi. Abono orgánico elaborado a partir de residuos de la producción de plátanos en Bocas del Toro, Panamá. *Cultivos tropicales*, 35(2), 90-97.
- Román, P., Martínez, M.M., y Pandoja, A. (2013). Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO. Santiago de Chile.
- Ruíz, M., Carrillo de Cori, C.E., Sosa, F., Aular, L.M., Mora, R., Castillo, L., Ortega, B., Castillo, E., Ramírez, E., Rodríguez, J., León, M., Silva, C., Tovar, M.R., Martínez, A., Reverón, A.M., y Gómez, F. (2018). Comparación de métodos para analizar materia orgánica en materiales orgánicos. Venezuela.
- Salazar, C.C. (2018). *Influencia del tratamiento de residuos orgánicos para mejorar la calidad del bocashi en el Mercado Sarita Colonia*. Tesis de grado. Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú.
- Sarmiento, G.J., Amézquita, M.A., y Mena, L.M. (2019). Uso de bocashi y microorganismos eficaces como alternativa ecológica en el cultivo de fresa en zonas áridas. *Scientia Agropecuaria*, 10(1), 55-61. doi: <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.01.06>
- Sosoranga, C. (2018). *Elaboración y evaluación de tres tipos de Bocashi con la aplicación de microorganismos eficaces (EM) en diferentes UPAs de la comunidad de Matara, Cantón Saraguro*. Tesis de pregrado. Universidad Nacional de Loja, Ecuador.

Suclupe, E.Y. (2019). *Comparación de la eficiencia entre Bioabono Bocashi y Urea en el rendimiento del cultivo de maíz híbrido Inica 617*. Tesis de pregrado. Universidad Cesar Vallejo, Chiclayo, Perú.

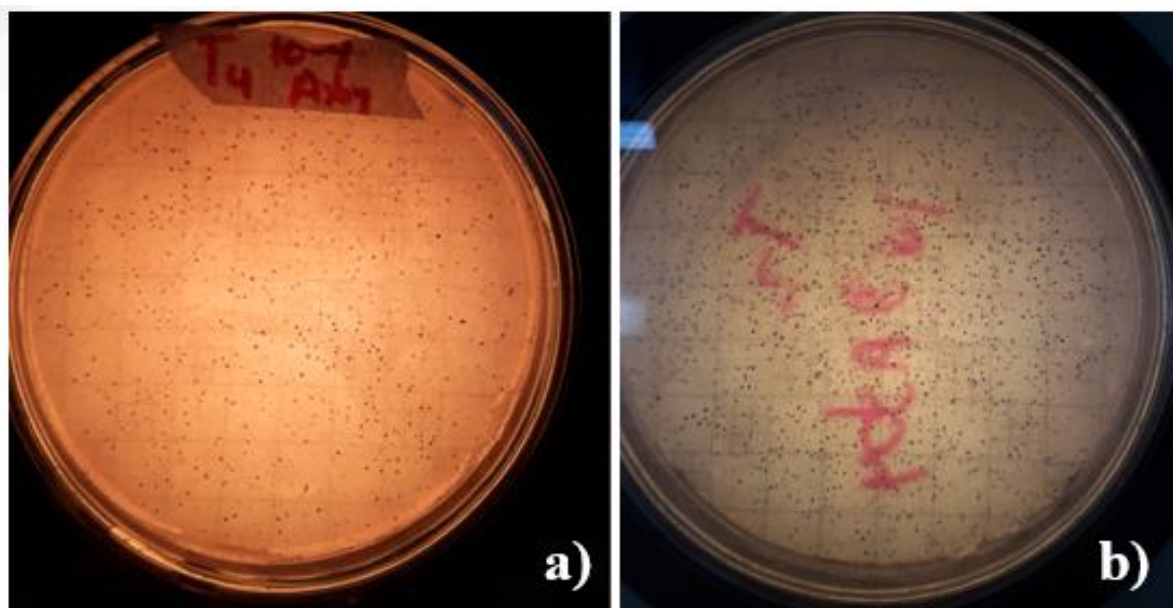
Universidad de Pamplona. (2013). Ingeniería agronómica, área del CISVEB, Facultad de Ciencias Agrarias. Recuperado de:
http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallIG/home_95/recursos/01general/23042014/ingenieria_agronomica.jsp

Vásquez, E., Sosoranga, P.C., Chamba, M., y Mora, M. (2018). Evaluación química de bocashi con aplicación de microorganismos eficaces en el cantón Saraguro, provincia de Loja. *Bosques Latitud Cero*, 8(1), 85-95.

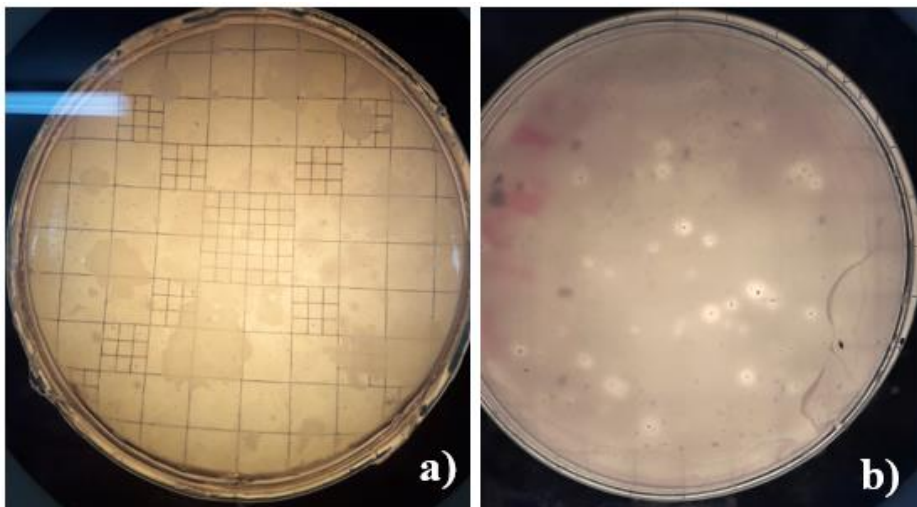
10. Anexos



Anexo 1. UFC presentes en el medio Rosa de Bengala. A) Crecimiento a las 24 horas; b) y c) crecimiento a las 48 horas. Fuente: elaboración propia



Anexo 2. UFC en el medio Ashby. Fuente: elaboración propia



Anexo 3. UFC en los medios a) SPC y b) Pikovskaya. Fuente: elaboración propia



Anexo 4. Coloración grisácea en el bocashi a los 35 DDE. Fuente: elaboración propia.

Anexo 5. Temperatura ambiente

Fecha	Bocashi	Testigo	Temperatura bocashi (°C)			Temperatura ambiente (°C)
			Levadura	EM	Lacto suero	
Noviembre	DDE					
1	21	28,97	26,05	25,67	27,10	20,09
8	28	23,25	21,12	20,95	21,65	17,3
15	35	17,47	16,25	16,05	16,05	20
22	42	18,15	19,92	18,92	18,30	18,2

Fuente: elaboración propia.